

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONO ABAD DEL
CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE – NUEVO MUNDO
- MEGANTONI - LA CONVENCION – CUSCO**

PRESENTADO POR:

Bach. JOSE LUIS QUISPE MAYHUA

Bach. JIMMY GABRIEL TIJERA CCORIMANYA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

MGT. ING. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone - Nuevo Mundo - Megantoni - la convención - Cusco

Presentado por: Jose Luis Quispe Mayhua DNI N° 73357541

presentado por: Jimmy Gabriel Tijera Tcorimanya DNI N°: 75900672

Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Geólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 21 de abril de 2025



Firma

Post firma Mg. ING. MATIAS OJEDA, EDISON SANTIAGO

Nro. de DNI 23853084

ORCID del Asesor 0000-0002-3236-025X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:451116938

Quispe, J.- Tijera, J.

Estudio Geológico y Geotécnico para la construcción de la Planta Compresora

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:451116938

Fecha de entrega

21 abr 2025, 12:10 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 abr 2025, 12:20 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis Quispe, J.-Tijera, J.pdf

Tamaño de archivo

8.9 MB

179 Páginas

46.242 Palabras

248.857 Caracteres

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Small Matches (less than 10 words)
- Internet sources
- Crossref database
- Crossref posted content database

Exclusions

- 1 Excluded Match

Top Sources

- 0%  Internet sources
- 0%  Publications
- 10%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

2 Integrity Flags for Review

-  **Replaced Characters**
97 suspect characters on 30 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.
-  **Hidden Text**
36 suspect characters on 4 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.



RESUMEN

El trabajo de investigación “Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya stand alone – Nuevo mundo - Megantoni – La convención – Cusco” se realizó con el objetivo de determinar las características geológicas y geotécnicas del terreno donde se cimentará la planta compresora de Gas, como también aportar información de las características del suelo de fundación las cuales se usaran para la elaboración de del diseño de cimientos de la planta y sus diferentes infraestructuras.

Los objetivos específicos desarrollados son: determinar las características geomorfológicas, geológicas de la zona de estudio y los parámetros geotécnicos (físico – mecánicos) del terreno de fundación de la planta compresora de gas, obtenido de una metodología de investigación de tipo mixto (cualitativo y cuantitativo), diseño de investigación no experimental y con alcance descriptivo – explicativo.

La zona de estudio está comprendida morfológicamente de 5 sub unidades (Colinas estructurales, lomadas en roca sedimentaria, pie de monte coluvial – deluvial y terrazas aluviales) esta última presenta mayor extensión y baja pendiente, litológicamente están conformadas por secuencias pelíticas de lodolitas y areniscas rojas de la formación Ipururo, también por Limos, arcillas, arenas y gravas de los depósitos cuaternarios Fluvio – Aluviales y Aluviales, las bajas pendientes y suelos no cohesivos son ideales para cimentar la planta compresora de gas, indirectamente con la geofísica se pudo determinar 3 estratos bien diferenciados: el primero de arcillas, limos y materia orgánica, el segundo de material no cohesivo y el tercero de gravas arenas de baja resistividad donde se infiere el nivel freático a 2 m. de profundidad.



Geotécnicamente para los cimientos de la planta se determinó capacidades admisibles para profundidades de desplante de 2.00 m. y para cimientos de tipo Plateas con dimensiones de 10 m x 15 m. la presencia de arenas y gravas nos dan capacidades admisibles aceptables que van desde los 1.98 Kg/cm² hacia adelante, donde no se tiene asentamientos inmediatos superiores al normado.

Se analiza geotécnicamente los parámetros dinámicos del suelo las cuales nos dan idea de la reacción de estos ante cargas dinámicas, de esta forma se evita tener problemas de resonancia y así minimizar la transividad de vibraciones al suelo. El análisis dinámico requiere de conocer las propiedades estáticas del suelo como el módulo de elasticidad (E) y coeficiente de Poisson (para estos tipos de suelo se usa entre 0.25 – 0.35). Los parámetros dinámicos analizados son: Frecuencia fundamental del suelo (f_0) que van desde 30.81 Hz a 75.64 Hz, modulo cortante dinámico (G_d) van desde 1.26 kg/cm² a 2.859 a kg/cm² y módulos de elasticidad dinámica (E_d) que van de 3.40 kg/cm² a 7.69 kg/cm² todos estos parámetros a una profundidad máxima de 6.33 m. Los parámetros analizados siguen los lineamientos de la norma internacional ACI 351.35.04 la cual regula el diseño de cimientos para equipos dinámicos.

Palabras claves: Estudio geológico, estudio geotécnico, parámetros geotécnicos, capacidad admisible, análisis dinámico, norma ASTM, norma ACI 351.35.04.



ABSTRACT

The research Work: "Geological and Geotechnical Study for the Construction of the Mipaya Stand Alone Gas Compressor Plant – Nuevo Mundo - Megantoni – La Convención – Cusco" was carried out with the objective of determining the geological and geotechnical characteristics of the land where the gas compressor plant will be founded, as well as providing information on the foundation soil characteristics, which will be used for the design of the plant's foundations and its different infrastructures.

The specific objectives developed are: to determine the geomorphological and geological characteristics of the study area and the geotechnical (physical-mechanical) parameters of the foundation soil of the gas compressor plant, obtained through a mixed research methodology (qualitative and quantitative), a non-experimental research design, and a descriptive-explanatory scope.

The study area is morphologically composed of five subunits (structural hills, sedimentary rock mounds, colluvial–deluvial piedmont, and alluvial terraces), the latter having the greatest extension and low slope. Lithologically, it is composed of pelitic sequences of mudstones and red sandstones of the Ipururo Formation, as well as silts, clays, sands, and gravels from Quaternary Fluvial–Alluvial and Alluvial deposits. The low slopes and non-cohesive soils make it an ideal location for the gas compressor plant. Indirectly, through geophysics, three well-differentiated strata were identified: the first consisting of clays, silts, and organic matter, the second composed of non-cohesive material, and the third consisting of low-resistivity gravels and sands, where the water table is inferred at a depth of 2 m.

Geotechnically, the allowable bearing capacities were determined for foundation depths of 2.00 m and for raft foundations with dimensions of 10 m x 15 m. The presence of sands and



gravels provides acceptable allowable bearing capacities, ranging from 1.98 kg/cm² and above, where immediate settlements do not exceed the regulated limits.

he geotechnical analysis also evaluated the dynamic parameters of the soil, which provide insight into its response to dynamic loads, thus preventing resonance issues and minimizing vibration transmission to the ground. The dynamic analysis requires knowledge of the soil's static properties, such as the modulus of elasticity (E) and Poisson's ratio (ranging between 0.25 – 0.35 for these soil types). The analyzed dynamic parameters include: fundamental soil frequency (fo) ranging from 30.81 Hz to 75.64 Hz, dynamic shear modulus (Gd) ranging from 1.26 kg/cm² to 2.859 kg/cm², and dynamic elasticity modulus (Ed) ranging from 3.40 kg/cm² to 7.69 kg/cm², all measured to a maximum depth of 6.33 m. The analyzed parameters follow the guidelines of the international standard ACI 351.35.04, which regulates the foundation design for dynamic equipment.

Keywords: Geological study, geotechnical study, geotechnical parameters, allowable bearing capacity, dynamic analysis, ASTM standard, ACI 351.35.04 standard.



INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	23
1.1. UBICACIÓN GENERAL	23
1.2. ACCESIBILIDAD.....	24
1.3. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	26
1.3.1. BOSQUE HÚMEDO DE TERRAZA BAJA Y MEDIA BHTBM	26
1.3.2. BOSQUE HÚMEDO DE COLINA BAJAS Y LOMADA BHCBL	27
1.4. ANTECEDENTES	28
1.4.1. INTERNACIONAL	28
1.4.2. NACIONAL	29
1.4.3. LOCAL	30
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	31
1.5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	31
1.5.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL	32
1.5.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	33
1.6. JUSTIFICACIÓN	33
1.6.1. CONVENIENCIA	33
1.6.2. RELEVANCIA SOCIAL	33
1.6.3. IMPLICANCIAS PRACTICAS	33
1.6.4. VALOR TEÓRICO	34
1.6.5. UTILIDAD METODOLÓGICA	34
1.7. OBJETIVOS.....	34
1.7.4. OBJETIVO GENERAL	34
1.7.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
1.8. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL	34
1.8.1. HIPÓTESIS GENERAL	34
1.8.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS	35
1.9. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	35
1.10. VARIABLES	36
1.10.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	36
1.10.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	36
1.10.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	37
1.11. METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	37
1.11.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	37



1.11.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN (NO EXPERIMENTAL)	38
1.11.3. FASE O ENFOQUE MIXTO (CUALITATIVO Y CUANTITATIVO).	38
1.11.4. ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN	38
1.11.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	41
1.12. EQUIPOS Y MATERIALES	41
1.12.1. EQUIPOS.....	41
1.12.2. MATERIALES:	41
1.13. MARCO TEÓRICO.....	42
1.13.1. ASPECTO NORMATIVO	42
1.13.2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	43
1.13.2.2. ASPECTO GEOTÉCNICO.....	45
1.14. MARCO CONCEPTUAL.....	54
CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA	56
2.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	56
2.1.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	57
2.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	62
2.1.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES	62
2.3. PENDIENTES	65
CAPITULO III: GEOLOGÍA.....	67
3.1. ESTRATIGRAFÍA	67
3.2. GEOLOGÍA REGIONAL	68
3.3. GEOLOGÍA LOCAL.....	72
3.3.1. FORMACIÓN IPURURO.....	73
3.3.2. DEPÓSITOS FLUVIO ALUVIALES	74
3.3.3. DEPÓSITOS ALUVIALES	75
CAPITULO IV: HIDROLOGÍA	78
4.1. CLIMA	78
4.2. ESTUDIO HIDROLOGICO	79
4.2.1. FISIOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO	79
4.2.2. DATOS HIDROCLIMATICOS	80
4.2.3. DESCRIPCION Y ANALISIS HIDROLÓGICOS	84
4.2.4. ANALIS Y OBTENCION DE CUADALES MAXIMOS	86
4.3. ANÁLISIS DE HIDRÁULICA.....	89
4.3.1. ÁREA DE ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	89
4.3.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE VELOCIDAD MEDIA Y ESFUERZOS CORTANTES.....	90



4.4. ESTUDIO DE SOCAVACION	95
4.4.1. METODOLOGÍA LISCHTVAN – LEBEDIEV.....	96
4.4.2. OBRAS DE CONTENCIÓN.....	100
CAPITULO V: GEODINAMICA	101
5.1. GENERALIDADES	101
5.2. GEODINAMICA INTERNA.....	101
5.2.1. SISMICIDAD DE LA ZONA.....	101
5.2.2. FUENTES SISMOGENICAS DE LA ZONA.....	105
5.2.3. PELIGROSIDAD SÍSMICA.....	105
5.2.4. EFECTOS LOCALES.....	107
5.2.5. RIESGO SISMICO	109
5.2.6. TECTONICA Y SISMICIDAD	109
5.3. GEODINAMICA EXTERNA.....	110
5.3.1. ANÁLISIS DE PENDIENTES	110
5.3.2. FLUJO DE DETRITOS	111
5.3.3. EROSION DE RIBERA.....	111
CAPITULO VI: GEOSIFICA.....	113
6.1. GENERALIDADES	113
6.2. PLAN DE EXPLORACION GEOFISICA.....	113
6.3. METODOLOGIA	115
6.4. PARAMETROS DE ADQUISICION.....	117
6.4.1. ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA	117
6.4.2. ENSAYO DE SISMICA MASW	118
6.5. RESULTADOS	119
6.5.1. RESULTADOS ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	119
6.5.2. RESULTADOS ENSAYO DE SÍSMICA MÁS W	121
CAPITULO VII: GEOTECNIA.....	128
7.1. PLAN DE EXPLORACIÓN DIRECTA	128
7.2. EXPLORACION GEOTECNICA DIRECTA.....	129
7.2.1. SPT	129
7.2.2. DPL	133
7.2.3. PERFORACIÓN POR ROTACIÓN Y SPT MECANICO.....	141
7.2.3. CALICATAS (RESULTADOS).....	145
7.3. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	149
7.3.1. HUMEDAD Y LÍMITES DE CONSISTENCIA.	150



7.3.2. DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN.....	154
7.3.3. CLASIFICACION DE LOS MATERIALES DE LA ZONA DE ESTUDIO...	155
7.3.4. COMPRESIÓN INCONFINADA.....	156
7.3.5. COMPRESIÓN TRIAXIAL.	156
7.3.6. CORTE DIRECTO	157
7.3.7. CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.....	158
7.3.9. DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA	159
7.4. DISEÑO DE CIMENTACION SUPERFICIAL.....	159
7.4.1. PERFIL DEL SUELO	159
7.4.2. PARAMETROS MECANICOS PARA MATERIALES	160
7.5. ANALISIS DE LA CIMENTACION.....	161
7.5.1. CIMENTACION SUPERFICIAL	162
7.5.2. PROFUNDIDAD DE CIMENTACION.....	166
7.5.3. ASENTAMIENTO DE CIMENTACION SUPERFICIAL	166
7.6. ANALISIS DE PARÁMETROS DINÁMICOS PARA DISEÑO - CIMIENTO	167
7.6.1. AMORTIGUAMIENTO DEL SUELO:.....	168
7.6.2. FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL SUELO (Fo):.....	169
7.6.3. MODULO DINÁMICO CORTANTE (G).....	169
7.6.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (E_d):.....	170
CONCLUSIONES.....	174
RECOMENDACIONES.....	176
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	177
ANEXOS.....	179



INDICE DE IMÁGENES

Tabla 1: Ubicación política la zona de estudio	23
Tabla 2: Coordenadas geográficas y UTM.	23
Tabla 3: Ubicacion Hidrográfica de la zona de estudio	23
Tabla 4: Accesibilidad a la unidad de estudio planta compresora de gas Mipaya Stand Alone	25
Tabla 5: Matriz de consistencia.	35
Tabla 6: Variables Dependientes e Independientes.	36
Tabla 7: Tabla de técnicas e instrumentación.	37
Tabla 8: Técnicas y normas aplicables.	47
Tabla 9: Parámetros para ensayo de Densidad Insitu.	48
Tabla 10: Datos técnicos del equipo DPL.....	49
Tabla 11: Símbolos Utilizados en la Clasificación SUCS.....	53
Tabla 12: Unidades morfológicas identificados según la caracterización de Villota, 2005...58	
Tabla 13: Distribución de pendientes en la zona Mipaya Stand Alone	65
Tabla 14: Estaciones pluviometricas mas cercanas a la zona de estudio.....	80
Tabla 15: Estaciones pluviométricas de Cumba y Balsas.....	81
Tabla 16: Precipitaciones totales durante el año 2021.....	82
Tabla 17: Precipitaciones totales durante el año 2020.....	82
Tabla 18: Máximo de precipitaciones en los tres últimos años de Estación PK10+800 NM-PGA.....	82
Tabla 19: Máximo de precipitaciones en los 4 últimos años de Estación Locación Mipaya ..83	
Tabla 20: Número de días de precipitación por mes en la estación PK10+800 NM – PGA..83	
Tabla 21: Número de días de precipitación por mes en la estación Locación Mipaya.....83	



Tabla 22: Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación MPY - 2021.	
.....	84
Tabla 23: Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PK10+800 NM-PGA.....	86
Tabla 24: Área de drenaje de la Cuenca Urubamba y Cuenca Marañón.	86
Tabla 25: Caudales Extremos estaciones Cumba – Rio marañón	87
Tabla 26: Caudales extremos amplificados según formula de Fuller.	87
Tabla 27: Caudales Extremos amplificados estaciones Cumba – Río Marañón	88
Tabla 28: Caudales de diseño estación Compresora Mipaya	89
Tabla 29: Resultados Socavación Método Lischtvan – Lebediev	97
Tabla 30: Sismo superficiales registrados según IGP.....	102
Tabla 31: Sismo intermedio registrados según IGP.....	102
Tabla 32: Factores de aceleración horizontal máxima del terreno.....	106
Tabla 33: Factor de zona "Z" de zona de estudio.	107
Tabla 34: Parámetros de sitio para la zona de proyecto. (Fuente Ingeciencia)	107
Tabla 35: Valores de aceleración, velocidad y desplazamiento máximo en periodos de retorno de 30,50 y 100 años.	109
Tabla 36: Parámetros tectónicos y de sismicidad para la zona de estudio.	110
Tabla 37: Clasificación de pendientes medias.....	110
Tabla 38: Coordenadas de localización los ensayos de resistividad eléctrica a realizar.	114
Tabla 39: Coordenadas de inicio y fin de las líneas de MAS W.	115
Tabla 40: Parámetros de registro de sísmica MASW.	118
Tabla 41: Descripción de velocidad de onda según profundidad A-A".	122
Tabla 42: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil B-B"	123
Tabla 43: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil C-C".	123



Tabla 44: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil D-D"	124
Tabla 45: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil E-E"	125
Tabla 46: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil F-F".	125
Tabla 47: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil G-G"	126
Tabla 48: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil H-H"	127
Tabla 49: Cantidades de exploración directa realizadas	129
Tabla 50: Sondeos SPT mecánicos ejecutados, profundidad de rechazo y de rotación.	130
Tabla 51: Resultado N corregido, ensayo SPT	131
Tabla 52: Ensayo DPL ejecutados en campo.....	134
Tabla 53: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora.....	135
Tabla 54: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora adicional (primera parte).	136
Tabla 55: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora adicional (Segunda parte).....	137
Tabla 56: Parámetros estimados a partir de los resultados de los ensayos SPT y DPL realizados en campo.	140
Tabla 57: Porcentaje de calidad de la Roca a partir del valor del RQD.	141
Tabla 58: Porcentaje de recuperación de testigos SPT 05 mecánico y Perforación DDH. ..	142
Tabla 59: Porcentaje de recuperación de testigos SPT 06 mecánico y Perforación DDH. ..	142
Tabla 60: Valores de RQD obtenidos en el SPT 05 y posterior perforación DDH.	144
Tabla 61: Valores de RQD obtenidos en el SPT 06 y posterior perforación DDH.	144
Tabla 62: Tabla de densidad natural en campo.....	146
Tabla 63: Registro de NF encontrado en cada una de las exploraciones realizadas.....	149
Tabla 64: Cantidad de ensayos de laboratorio ejecutados.	150



Tabla 65: Resultados laboratorio, ensayos de humedad natural, limite líquido, plástico, de consistencia y estado.....	151
Tabla 66: Resultados ensayo de Proctor modificado.....	154
Tabla 67: Resultados ensayos compresión Inconfinada (Fuente: Ingeciencia, 2023).	156
Tabla 68: Resultados ensayos compresión triaxial.	157
Tabla 69: Resultados ensayos corte directo.	157
Tabla 70: Resultados ensayos de consolidación unidimensional.	158
Tabla 71: Resultados ensayos de densidad máxima y mínima del suelo.....	159
Tabla 72: Perfil de diseño a partir de los resultados de los ensayos SPT - campo.	159
Tabla 73: Resumen parámetros mecánicos para materiales.	160
Tabla 74: Parámetros y propiedades de mecánica en zona de estación compresora.	162
Tabla 75: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora primaria.	163
Tabla 76: Parámetros y propiedades mecánicas en zona de estación compresora alternativa.	163
Tabla 77: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora alternativa.	164
Tabla 78: Parámetros mecánicos en zona de estación compresora - Flare	164
Tabla 79: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora primaria – Flare.	165
Tabla 80: Parámetros mecánicos en zona de estación compresora alternativa – Flare.	165
Tabla 81: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora alternativa- flare.	166
Tabla 82: Tabla de relación de Poisson (u) según Bowles (1997).....	168
Tabla 83: Tabla de relación de Poisson (u) según ACI 351.35.04	168



Tabla 84: Parámetros estándares de amortiguamiento según Stewart y Campenella (1993).	169
Tabla 85: Parámetros dinámicos en Perfil A – A”	170
Tabla 86: Parámetros dinámicos en Perfil B – B”	171
Tabla 87: Parámetros dinámicos en Perfil C – C”	171
Tabla 88: Parámetros dinámicos en Perfil D – D”	171
Tabla 89: Parámetros dinámicos en Perfil E – E”	172
Tabla 90: Parámetros dinámicos en Perfil F – F”	172
Tabla 91: Parámetros dinámicos en Perfil G – G”	172
Tabla 92: Parámetros dinámicos en perfil H - H”	173



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación política la zona de estudio	23
Tabla 2: Coordenadas geográficas y UTM.	23
Tabla 3: Ubicacion Hidrográfica de la zona de estudio	23
Tabla 4: Accesibilidad a la unidad de estudio planta compresora de gas Mipaya Stand Alone	25
Tabla 5: Matriz de consistencia.	35
Tabla 6: Variables Dependientes e Independientes.	36
Tabla 7: Tabla de técnicas e instrumentación.	37
Tabla 8: Técnicas y normas aplicables.	47
Tabla 9: Parámetros para ensayo de Densidad Insitu.	48
Tabla 10: Datos técnicos del equipo DPL.....	49
Tabla 11: Símbolos Utilizados en la Clasificación SUCS.....	53
Tabla 12: Unidades morfológicas identificados según la caracterización de Villota, 2005...58	
Tabla 13: Distribución de pendientes en la zona Mipaya Stand Alone	65
Tabla 14: Estaciones pluviometricas mas cercanas a la zona de estudio.....	80
Tabla 15: Estaciones pluviométricas de Cumba y Balsas.....	81
Tabla 16: Precipitaciones totales durante el año 2021.....	82
Tabla 17: Precipitaciones totales durante el año 2020.....	82
Tabla 18: Máximo de precipitaciones en los tres últimos años de Estación PK10+800 NM-PGA.....	82
Tabla 19: Máximo de precipitaciones en los 4 últimos años de Estación Locación Mipaya ..	83
Tabla 20: Número de días de precipitación por mes en la estación PK10+800 NM – PGA..	83
Tabla 21: Número de días de precipitación por mes en la estación Locación Mipaya.....	83



Tabla 22: Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación MPY - 2021.	84
Tabla 23: Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PK10+800 NM-PGA.	86
Tabla 24: Área de drenaje de la Cuenca Urubamba y Cuenca Marañón.	86
Tabla 25: Caudales Extremos estaciones Cumba – Río marañón	87
Tabla 26: Caudales extremos amplificados según formula de Fuller.	87
Tabla 27: Caudales Extremos amplificados estaciones Cumba – Río Marañón	88
Tabla 28: Caudales de diseño estación Compresora Mipaya	89
Tabla 29: Resultados Socavación Método Lischtvan – Lebediev	97
Tabla 30: Sismo superficiales registrados según IGP.	102
Tabla 31: Sismo intermedio registrados según IGP.	102
Tabla 32: Factores de aceleración horizontal máxima del terreno.	106
Tabla 33: Factor de zona "Z" de zona de estudio.	107
Tabla 34: Parámetros de sitio para la zona de proyecto. (Fuente Ingeciencia)	107
Tabla 35: Valores de aceleración, velocidad y desplazamiento máximo en periodos de retorno de 30,50 y 100 años.	109
Tabla 36: Parámetros tectónicos y de sismicidad para la zona de estudio.	110
Tabla 37: Clasificación de pendientes medias.	110
Tabla 38: Coordenadas de localización los ensayos de resistividad eléctrica a realizar.	114
Tabla 39: Coordenadas de inicio y fin de las líneas de MAS W.	115
Tabla 40: Parámetros de registro de sísmica MASW.	118
Tabla 41: Descripción de velocidad de onda según profundidad A-A".	122
Tabla 42: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil B-B"	123
Tabla 43: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil C-C".	123



Tabla 44: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil D-D"	124
Tabla 45: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil E-E"	125
Tabla 46: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil F-F".	125
Tabla 47: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil G-G"	126
Tabla 48: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil H-H"	127
Tabla 49: Cantidades de exploración directa realizadas	129
Tabla 50: Sondeos SPT mecánicos ejecutados, profundidad de rechazo y de rotación.	130
Tabla 51: Resultado N corregido, ensayo SPT	131
Tabla 52: Ensayo DPL ejecutados en campo.....	134
Tabla 53: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora.....	135
Tabla 54: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora adicional (primera parte).	136
Tabla 55: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora adicional (Segunda parte).....	137
Tabla 56: Parámetros estimados a partir de los resultados de los ensayos SPT y DPL realizados en campo.	140
Tabla 57: Porcentaje de calidad de la Roca a partir del valor del RQD.	141
Tabla 58: Porcentaje de recuperación de testigos SPT 05 mecánico y Perforación DDH. ..	142
Tabla 59: Porcentaje de recuperación de testigos SPT 06 mecánico y Perforación DDH. ..	142
Tabla 60: Valores de RQD obtenidos en el SPT 05 y posterior perforación DDH.	144
Tabla 61: Valores de RQD obtenidos en el SPT 06 y posterior perforación DDH.	144
Tabla 62: Tabla de densidad natural en campo.....	146
Tabla 63: Registro de NF encontrado en cada una de las exploraciones realizadas.....	149
Tabla 64: Cantidad de ensayos de laboratorio ejecutados.	150



Tabla 65: Resultados laboratorio, ensayos de humedad natural, limite líquido, plástico, de consistencia y estado.....	151
Tabla 66: Resultados ensayo de Proctor modificado.....	154
Tabla 67: Resultados ensayos compresión Inconfinada (Fuente: Ingeciencia, 2023).	156
Tabla 68: Resultados ensayos compresión triaxial.	157
Tabla 69: Resultados ensayos corte directo.	157
Tabla 70: Resultados ensayos de consolidación unidimensional.	158
Tabla 71: Resultados ensayos de densidad máxima y mínima del suelo.....	159
Tabla 72: Perfil de diseño a partir de los resultados de los ensayos SPT - campo.	159
Tabla 73: Resumen parámetros mecánicos para materiales.	160
Tabla 74: Parámetros y propiedades de mecánica en zona de estación compresora.	162
Tabla 75: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora primaria.	163
Tabla 76: Parámetros y propiedades mecánicas en zona de estación compresora alternativa.	163
Tabla 77: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora alternativa.	164
Tabla 78: Parámetros mecánicos en zona de estación compresora - Flare	164
Tabla 79: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora primaria – Flare.	165
Tabla 80: Parámetros mecánicos en zona de estación compresora alternativa – Flare.	165
Tabla 81: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora alternativa- flare.	166
Tabla 82: Tabla de relación de Poisson (u) según Bowles (1997).....	168
Tabla 83: Tabla de relación de Poisson (u) según ACI 351.35.04	168



Tabla 84: Parámetros estándares de amortiguamiento según Stewart y Campenella (1993).	169
Tabla 85: Parámetros dinámicos en Perfil A – A”	170
Tabla 86: Parámetros dinámicos en Perfil B – B”	171
Tabla 87: Parámetros dinámicos en Perfil C – C”	171
Tabla 88: Parámetros dinámicos en Perfil D – D”	171
Tabla 89: Parámetros dinámicos en Perfil E – E”	172
Tabla 90: Parámetros dinámicos en Perfil F – F”	172
Tabla 91: Parámetros dinámicos en Perfil G – G”	172
Tabla 92: Parámetros dinámicos en perfil H - H”	173



AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por ser mi guía y fortaleza en este camino, sin su luz y bendiciones, este logro no habría sido posible. A mis padres y hermanos por su amor, sacrificio y apoyo incondicional. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Escuela profesional de Ingeniería Geológica, por brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

Br. Jose Luis Quispe Mayhua

Agradezco a Dios por su guía, a mis padres por su apoyo incondicional, y a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por mi formación. También a mis amigos y compañeros, cuyo apoyo fue invaluable en este camino.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

Br. Jimmy Gabriel Tijera Ccorimanya



INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se realizará el estudio geológico y geotécnico detallado del subsuelo correspondiente al área donde se emplazará la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone. El objetivo fundamental es definir los parámetros según las características geotécnicas del terreno, asegurando la estabilidad y seguridad estructural de la obra. El análisis incluye la evaluación del suelo, su capacidad de carga y posibles riesgos geotécnicos que pudieran afectar la cimentación. Con estos resultados, se establecerán criterios adecuados en la etapa de evaluación y elaboración de diseños estructurales.

En el Capítulo I, se describen las generalidades de la planta compresora de gas en Mipaya Stand Alone, también se detalla su ubicación en la selva cusqueña del distrito de Megantoni, resaltando las condiciones climáticas y ecológicas que influyen en la investigación.

El Capítulo II, aborda la caracterización geomorfológica del área de estudio, identificando cuatro unidades principales y determinando que el emplazamiento del proyecto se encuentra en una subunidad de colina estructural de baja pendiente.

En el Capítulo III, se describe cuatro formaciones geológicas principales en el área de estudio, con edades desde el Eoceno-Oligoceno hasta el Cuaternario. La evaluación de estas unidades es esencial para determinar el comportamiento mecánico del terreno ante cargas estructurales.

El Capítulo IV, desarrolla las características hidrológicas e hidroclimáticas de la cuenca Urubamba, con análisis de precipitaciones y caudales, datos fundamentales para evaluar la estabilidad estructural y diseñar sistemas de drenaje adecuados.



En el Capítulo V, se evalúa la geodinámica interna y externa del área, donde la actividad sísmica es baja (nivel 2 según el IGP). Sin embargo, se identifican flujos de detritos y erosión de riberas como riesgos a considerar en el proyecto.

El Capítulo VI describe los estudios geofísicos realizados para determinar parámetros de resistividades aparentes (Ohm) y velocidad de ondas (V_s), utilizando métodos como la resistividad eléctrica y la sísmica MASW, fundamentales para el diseño de cimentaciones.

En el Capítulo VII, se detallan las exploraciones directas y ensayos de laboratorio que permitieron evaluar las capacidades portantes del suelo y su respuesta ante cargas dinámicas, asegurando la estabilidad de los cimientos de la planta.

En síntesis, este estudio integra disciplinas geológicas, geotécnicas, hidrológicas y geodinámicas para garantizar un análisis integral del terreno, proporcionando información esencial para futuros análisis estructurales ante de la etapa constructiva de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone.



CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. UBICACIÓN GENERAL

La unidad de operaciones de la planta compresora de Mipaya Stand Alone donde se propone construir la planta compresora se encuentra ubicada en el flanco oriental de la cordillera de los andes peruanos, políticamente se encuentra ubicada en la localidad de Nuevo mundo, Distrito de Megantoni, Provincia de La Convención, Departamento de Cusco.

1.1.1. UBICACIÓN POLITICA

Tabla 1: Ubicación política la zona de estudio

Departamento	Cusco
Provincia	La Convención
Distrito	Megantoni
Localidad	Nuevo Mundo

1.1.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

Tabla 2: Coordenadas geográficas y UTM.

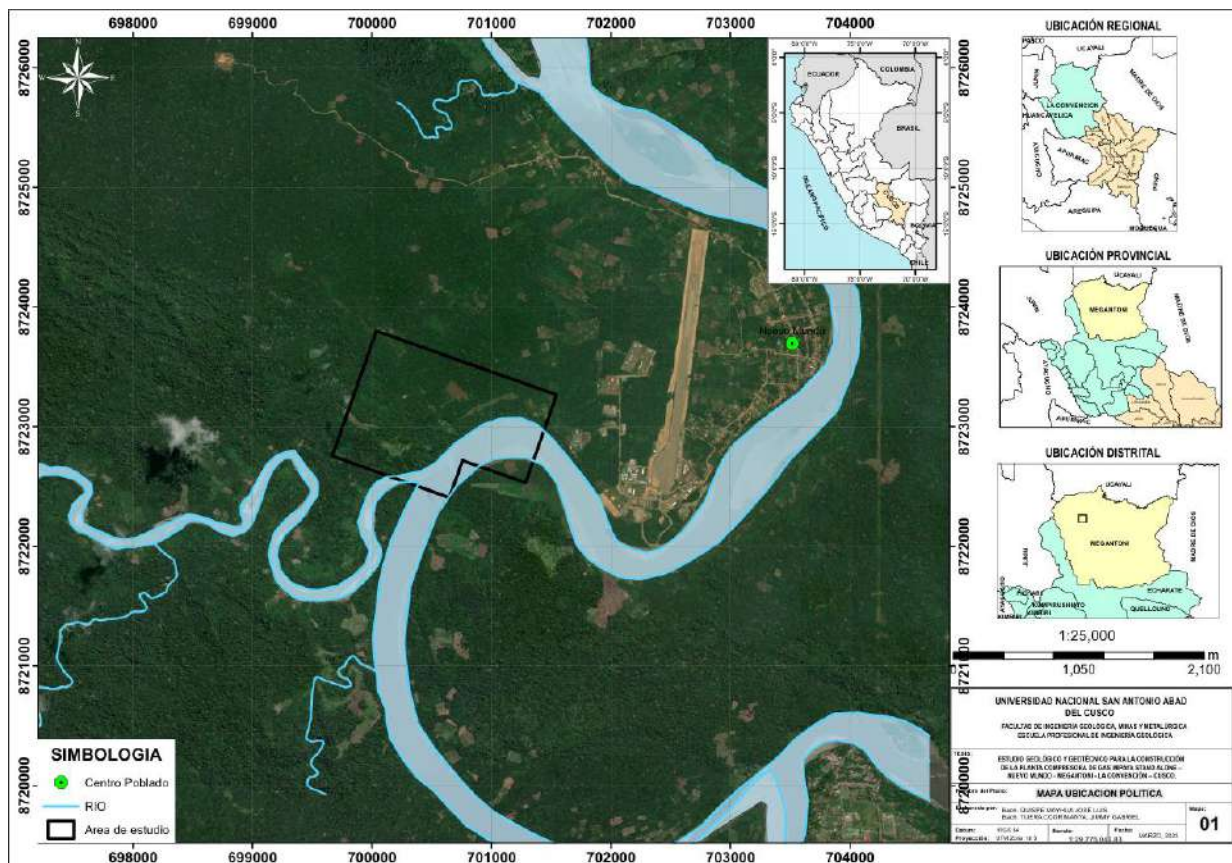
Coordenadas Geográfica y UTM						
Planta	Este	Sur	Latitud	Longitud	Altitud	Zona
ESTACION MIPAYA ALTERNATIVA	700717.93	8723383.14	11° 32' 33.23" S	73° 9' 43.07" O	350	18
ESTACION MIPAYA	700018.05	8723123.09	11° 32' 41.82" S	73° 9' 57.26" O	388.73	18

1.1.3. UBICACIÓN HIDROGRAFICA

Tabla 3: Ubicacion Hidrográfica de la zona de estudio

Planta	Vertiente	Cuenca	Sector
ESTACION MIPAYA - ALTERNATIVA	Atlántico	Rio Urubamba	Nuevo Mundo

Figura 1: Mapa de ubicación de zona Mipaya Stand Alone.



Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.

1.2. ACCESIBILIDAD

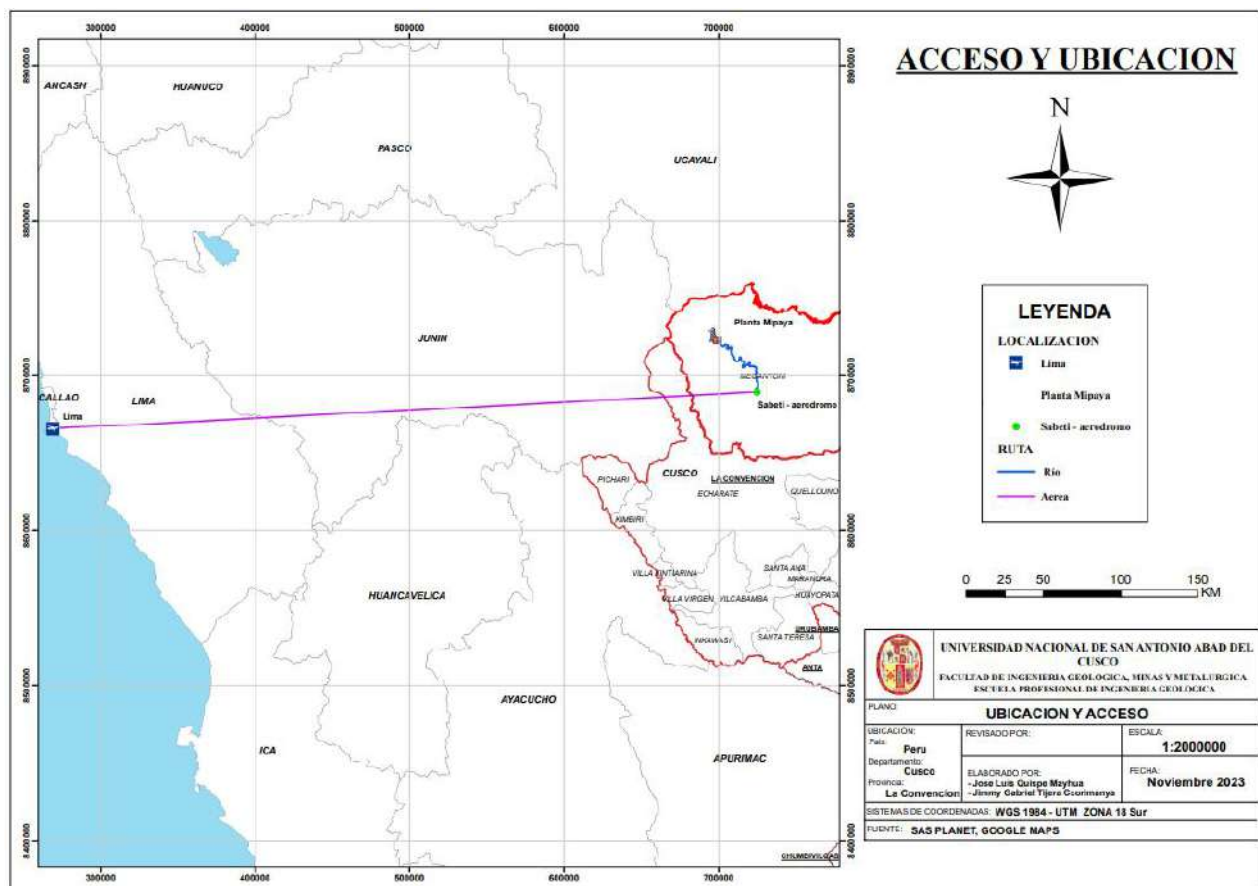
La zona de estudio donde se propone construir la planta de compresora de gas Mipaya Stand Alone es accesible únicamente por medio fluvial y aéreo, la ruta de acceso es desde la ciudad de Lima hasta el aeródromo de la planta de fraccionamiento de gas Malvinas – Camisea, posterior a esto el transporte es por medio fluvial hasta el puerto de Boca rio Mipaya. Donde es la zona de estudio.



Tabla 4: Accesibilidad a la unidad de estudio planta compresora de gas Mipaya Stand Alone

	Tramos	Acceso	Transporte	Distancia (Km)	Tiempo
1	Cusco - Lima	Aérea	Avión	587 km	1 hora
2	Lima – Planta de Gas Malvinas (Camisea)	Aérea	Avión - Avioneta	441 km	1 hora
3	Malvinas – Puerto Boca rio Mipaya	Fluvial	Bote, Canoa	59.4 Km	3 horas
4	Puerto Boca rio Mipaya - zona de estudio	Terrestre	Trocha	1km	20 min
TOTAL				500.4 Km	5.38 hr

Figura 2: Mapa de Acceso vía área hacia zona de estudio.



Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.



1.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

El estudio climatológico a menor escala de la zona de estudio nos permite conocer las condiciones pluviométricas e hidrológicas dentro del entorno de la zona del proyecto, así como también otros factores hidrogeológicos. La zona de estudio está determinada por un patrón estacional bimodal en el transcurso del año, una estación seca entre los meses de abril a octubre y una estación lluviosa entre los meses de noviembre a marzo.

La zona de estudio específicamente presenta climas muy adversos por tratarse de una zona selva, a pesar de eso se puede estandarizar que la zona de presenta temperaturas promedio de 20 °C a 35 °C y (Estación meteorológica Mipaya) cabe mencionar que en esta zona se presentan friajes donde las temperaturas pueden ser menores o días con temperaturas superiores donde la temperatura sube y produce golpes de calor. La humedad relativa media es variable según las condiciones del día, las mañanas son más humedad que las tarde, se estandariza humedades medias que van desde los 70% al 80% según (Estación meteorológica Mipaya,2023).

La vegetación presente en la zona de estudio es muy variable, el clima es un factor positivo para esta, la presencia de agua y temperaturas moderadas a altas favorecen al crecimiento poblaciones de muchas especies. La presenta vegetación es muy característico arboles altos y cobertura vegetal muy poblada al punto de evitar el camino o acceso por estas zonas. Se pude identificar ciertas unidades de cobertura vegetal como.

1.3.1. Bosque húmedo de terraza baja y media BHTbm

Comprendidos por una cobertura vegetal húmeda o un ambiente húmedo, se ubican generalmente en las llanuras aluviales de la Selva amazónica, en nuestro caso en la Selva cusqueña. Dentro de la zona de cusco este tipo de cobertura en terrazas bajas y media representa el 1.39 % de su superficie. La flora en estos tipos de bosque predomina las “chirapa sacha” y

algunas Ciperaccas y poáccas, también es común la presencia de caña brava, pájaro bobo, puca varilla, cetico y punga colorada.

Figura 3: Bosque húmedo de terraza bajas y media.



Nota: Se aprecia vegetación elevada junto a una terraza aluvial.

1.3.2. Bosque húmedo de colina bajas y lomada BHCbl

Comprender la cobertura vegetal que se desarrolla sobre las colinas bajas y lomadas, esta cobertura es densa y exuberante debido a la humedad y el calor. Las especies más representativas de esta zona son del género Tapiria, Oxandra, Unonopsis, Xilopia, Couma, Nealchornea, Croton, Cedrelinga, Etc. También es común la presencia de palmeras y zonas de cañas de diferentes grados de cobertura, En el cusco este tipo de cobertura vegetal representa el 3.11% de la superficie de la región.

Figura 4: Bosque húmedo de colina bajas y lomada BHCbl





1.4. ANTECEDENTES

1.4.1. Internacional

Antecedente 1: Pineda, 2016. proyecto de investigación: Estudio geotécnico – geológico para la construcción del gasoducto los ramones fase II, tramo norte.

El objetivo de este estudio es examinar las propiedades geológicas y geotécnicas del subsuelo donde se asentará la línea del gasoducto, determinando un terreno estable, resistente y con un desempeño mecánico adecuado que asegure la integridad de la tubería.

Se evaluaron los resultados obtenidos en las zonas de la planta compresora y la línea de conducción, identificando áreas críticas con fallas activas, por lo que se recomienda ajustar el trazado de la línea para minimizar riesgos. En las áreas de compresión, destinadas a la instalación de las estructuras, se llevó a cabo un estudio sobre la capacidad de carga y las deformaciones del suelo ante las cargas aplicadas.

Los sondeos eléctricos verticales y las mediciones en las estaciones de compresión indican valores de resistencia eléctrica de 1.46Ω y 2.71Ω , considerados óptimos para baja tensión y adecuados para alta tensión. Sin embargo, el terreno presenta un alto potencial de corrosión.

La zona de estudio, caracterizada por llanuras y lomeríos suaves, es favorable para el transporte de gas. Se detectaron estratos de arcillas expansivas entre 2.0 m y 3.5 m en distintos puntos del tramo Km 75+236 al Km 93+905 y del Km 98+018 al Km 106+020. En sectores con fallas activas, como la falla de Aramberri, que presenta un desplazamiento por cizallamiento lateral, se recomienda ajustar el trazado original del proyecto.

La investigación realizada proporciona criterios para evaluar el suelo mediante métodos directos e indirectos, permitiendo definir zonas con características geotécnicas óptimas para la instalación de plantas y la línea de oleoductos.



El aporte de este estudio en el análisis de la problemática se resuelven según los métodos indirectos y directos, los mapeos de campo nos determina las unidades geomorfológicas las cuales permite establecer lineamientos para investigaciones similares, enfocadas en estudios para líneas de conducción de gasoductos y plantas compresoras. La posibilidad de modificar el trazado de la línea, así como las propuestas de estabilidad de suelos en zonas de fallas, son ejemplos de soluciones convencionales que han demostrado ser efectivas en este tipo de proyectos.

1.4.2. Nacional

Antecedente 1: Tavera H, Bernal I. Gómez J. 2020. Proyecto de investigación: Estudios de zonificación sismo-geotécnica del área urbana de talara.

El objetivo principal es determinar las capacidades portantes del terreno considerando sus propiedades físico-mecánicas e identificar áreas con actividad geodinámica activa.

Desde el enfoque geotécnico, los ensayos de laboratorio permitieron identificar seis tipos de suelos predominantes en la ciudad de Talara. Entre ellos se encuentran gravas limo-arcillosas con arena (GC-GM), caracterizadas por una compacidad media y una capacidad portante moderada (2.00 – 3.00 kg/cm²). También se identificaron arenas mal graduadas (SP) y arenas limosas (SM), cuya compacidad varía de media a suelta, con capacidades portantes bajas a muy bajas, oscilando entre menos de 1.00 kg/cm² y 1.00 – 2.00 kg/cm².

Geofísicamente, el análisis de razones espectrales H/V indica que los suelos responden a frecuencias predominantes de 0.3 a 2.8 Hz en el centro y extremo norte de la ciudad, mientras que en las zonas sur y este estas oscilan entre 3.0 y 12.0 Hz, con amplificaciones máximas de hasta 4 veces.

Los resultados obtenidos mediante el método sísmico revelan la presencia de una capa superficial de suelos moderadamente rígidos (Vs entre 192 y 287 m/s) con espesores que varían



entre 5 y 35 metros. Los mayores espesores se encuentran en Talara Baja y hacia el sureste de Talara Alta. A mayor profundidad, se identifican suelos rígidos ($V_s > 368$ m/s) con espesores que superan los 30 metros.

En conclusión, los suelos gravosos a areno-limosos tienen baja cohesión, pero ofrecen una capacidad portante aceptable de 2.00 a 3.00 kg/cm². Por otro lado, las arenas mal graduadas y arenas limosas presentan capacidades admisibles inferiores a 1.00 kg/cm².

El principal aporte de esta investigación es proporcionar una base de referencia para el estudio y diseño de cimentaciones en unidades estructurales similares. Aunque los suelos presentan diferencias, la metodología utilizada en campo y gabinete es aplicable a este estudio. Los análisis realizados, comparables a los del emplazamiento de la Refinería de Talara, sirven de fundamento para futuras investigaciones en plantas industriales con condiciones geotécnicas equivalentes, contribuyendo al desarrollo de metodologías y criterios para cimentaciones en distintos tipos de suelos.

1.4.3. Local

Antecedente 1: Garay J. 2018. Proyecto de investigación: Exploración geotécnica de sondajes profundos en DDV Flow line Cashiriari PK 41+000

El objetivo principal de este estudio es evaluar las características geológicas y geotécnicas del área en mención, con el fin de definir y diseñar las obras requeridas para garantizar la estabilización del sitio.

Los resultados obtenidos a través de los mapeos y monitoreos del talud indican que el deslizamiento tiene una longitud aproximada de 250 metros, desde el hombro derecho del DDV hacia la ladera, con un ancho promedio de 100 metros y una profundidad estimada entre 10 y 12 metros.



En el PK41+050, la composición del suelo revela una secuencia inestable de capas de caliza en la parte superior, las cuales descansan sobre una base de lodolitas altamente plásticas. Este conjunto de materiales tiende a deslizarse sobre las areniscas más profundas, especialmente cuando el agua de lluvia satura el terreno. La litología más propensa a retener agua se distribuye en diferentes estratos, comenzando desde la superficie con capas areno-arcillosas, seguidas por saprolito de arenisca y, en el fondo, arenisca compacta.

Del proyecto se concluye que la zona analizada ha sido afectada por procesos geodinámicos internos y externos como como lluvias intensas, lo que ha provocado el movimiento de la ladera. Actualmente, una falla geológica activa impacta el derecho de vía del oleoducto (DDV), con desplazamientos entre lodolitas y areniscas, materiales que facilitan la acumulación de agua y debilitan la estabilidad del terreno.

El presente trabajo aporta significativamente a la investigación mediante la descripción de la geología de la zona de estudio, la cual, por su proximidad a nuestro proyecto, presenta unidades geológicas y características geotécnicas muy similares al tratarse de las mismas litologías en la cual se emplazara la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone.

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las exploraciones geotécnicas referidos al sector de hidrocarburo como el gas alrededor del mundo implica un análisis y estudios detallados para garantizar la seguridad, estabilidad y eficiencia de las estructuras que conducen y procesan este recurso, según González y Ramírez (2020), "los estudios geotécnicos son esenciales para garantizar la viabilidad técnica y económica de los oleoductos, minimizando los riesgos asociados a condiciones geológicas adversas". Además, que este recurso normalmente se ubica en áreas remotas y de difícil acceso,



como desierto, montañas y selvas tropicales, esto implica un desafío técnico en los estudios insitu que se llevan a cabo para cada investigación.

Perú, como sabemos es un país con diversidad de regiones dentro del cual el estudio geotécnico en las zonas tropicales remota son un desafío de ingeniería no solo por la complejidad del acceso, si no por la complejidad de realizar mapeos geológicos y realizar pruebas de campo para la obtención de datos geotécnicos

La extracción de gas de la locación Mipaya ubicada en Nuevo Mundo – La Convención – Cusco, no cumplen con las condiciones óptimas de presión hacia la planta de separación de gas Malvinas, es por ese motivo la construcción de una planta compresora de gas que puede aumentar las presiones requeridas; esto nos lleva al problema principal que al momento de emplazar los cimientos de la planta de compresión no se sabe las condiciones geológicas, geotécnicas del suelo a profundidad, para eliminar la incertidumbre de esas condiciones es realizo mapeos geológicos los cuales nos ayudara a conocer la geomorfología, la geología estructural y la geodinámica de la zona, y para conocer las características geotécnicas se realizó estudios geotécnicos los cuales se determinaran por pruebas geotécnicas directas e indirectas como son las perforaciones, ensayos insitu (directo e indirectos) y ensayos de laboratorio.

El análisis de estas características geológicas y geotécnicas es de gran importancia porque nos da los lineamientos y parámetros para la realización de cimientos óptimos y seguros que necesita la planta compresora de gas. En el problema de encontrarse con suelos con características geotécnica inestables es necesario plantear soluciones geotécnicas de cimentaciones a profundidades o mejoramientos de suelos de fundación.

1.5.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las características geológicas y geotécnicas para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone?



1.5.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuáles son las características geomorfológicas de la zona de estudio?
2. ¿Cuáles son las características geológicas de la zona de estudio?
3. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos (físicos – mecánicos) del terreno de fundación de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone?

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. Conveniencia

La falta de información geológica y geotécnica para la construcción de la planta compresora de gas es la principal razón de esta investigación, mediante los estudios realizados se pretende obtener datos de caracterización geológicas y geotécnicas del terreno de fundación, las cuales se usarán para la elaboración del diseño de cimiento de la planta y las distintas infraestructuras en el proceso constructivo.

1.6.2. Relevancia social

Socialmente la investigación geológica y geotécnica insitu implica el apoyo de personal de la zona, por el conocimiento del ambiente brindado. La investigación mencionada esta implicada directamente con la construcción de la planta en el cual se necesitará personal de la zona para su mantenimiento y buen funcionamiento.

1.6.3. Implicancias practicas

Conocer las características geológicas y geotécnicas nos da los parámetros correctos para diseñar los cimientos de la planta. Dichas investigaciones reducirán la ocurrencia de problemas geotécnicos en la ejecución y mantenimiento de la planta compresora de gas.



1.6.4. Valor teórico

El conocimiento adquirido en este estudio servirá para reducir la incertidumbre sobre las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio, así como para proporcionar antecedentes útiles en futuras investigaciones.

1.6.5. Utilidad metodológica

La investigación se realizó en base a normas y parámetros estandarizados, las cuales nos garantizan la confiabilidad y calidad de resultados, la información adquirida garantizará el correcto diseño de los cimientos de la planta compresora de gas.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio geológico – geotécnico para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar, las características geomorfológicas de la zona de estudio.
2. Determinar las características geológicas de la zona de estudio.
3. Determinar los parámetros geotécnicos (físicos – mecánicos) del terreno de fundación de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone.

1.8. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL

1.8.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio determinan la viabilidad para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone, permitiendo parámetros de diseño seguros y sostenibles.



1.8.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

1. Las características geomorfológicas son favorables para emplazar la planta compresora de gas Mipaya Stand alone, por la predominancia de geoformas de bajas pendientes y planas.

2. Las características geológicas de la zona de estudio son favorables para emplazar la planta compresora de gas, por la predominancia de suelos aluvial no cohesivos.

3. Los parámetros geotécnicos (físico – mecánico) del terreno de fundación donde se emplazará la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone, son las adecuadas y están dentro de los limites permisibles según normas y estándares.

1.9. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 5: Matriz de consistencia.

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables independientes	Metodología
¿Cuáles son las características geológicas y geotécnicas para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone?	Realizar el estudio geológico – geotécnico para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone.	Las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio determinan la viabilidad para la construcción de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone, permitiendo parámetros de diseño seguros y sostenibles.	- Estudio Geológico - Estudio Geotécnico	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: (no experimental); ENFOQUE: Mixto (Cualitativo – Cuantitativo) TIPO DE INVESTIGACIÓN: (Mixta) FASE O ALCANCE: Descriptivo - explicativo.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables dependientes	
1. ¿Cuáles son las características geomorfológicas de la zona de estudio?	1.Determinar, las características geomorfológicas de la zona de estudio.	1. Las características geomorfológicas son favorables para emplazar la planta compresora de gas Mipaya Stand alone, por la predominancia de geoformas de bajas pendientes y planas.	Parámetros geotécnicos para el diseño de cimentación de la planta compresora de Gas Mipaya stand alone	La metodología de investigación consta de tres etapas: Etapa de pre campo, etapa de campo, etapa de post campo.
2. ¿Cuáles son las características geológicas de la zona de estudio?	2.Determinar las características geológicas de la zona de estudio.	2. Las características geológicas de la zona de estudio son favorables para emplazar la planta compresora de gas, por la predominancia de suelos aluvial no cohesivos.		ETAPA DE PRE CAMPO: Recopilación de información bibliográfica y planificación.
3. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos (físicos – mecánicos) del terreno de fundación de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone?	3. Determinar los parámetros geotécnicos (físicos – mecánicos) del terreno de fundación de la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone	3. Los parámetros geotécnicos (físico – mecánico) del terreno de fundación donde se emplazará la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone, son las adecuadas y están dentro de los limites permisibles según normas y estándares.		- ETAPA DE CAMPO: Recolección y obtención de datos en campo. - ETAPA DE POST CAMPO: procesamiento de los datos obtenidos, interpretación de resultados y redacción de tesis.



1.10. VARIABLES

1.10.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Geología
- Geotecnia
- Geomorfología
- Hidrología
- Geodinámica
- Geofísica

1.10.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Parámetros geotécnicos para el diseño de cimentación de la planta compresora de Gas Mipaya Stand Alone.

Tabla 6: Variables Dependientes e Independientes.

Variable (y) = F(x)		Dimensiones	Indicadores
Variable dependiente	Variable independiente		
Parámetros geotécnicos para el Diseño de cimentación de la planta compresora de Gas Mipaya stand alone	Estudio Geológico	Estratigrafía	Litología
			Estratigrafía
		Geodinámica	Geodinámica interna
		Geodinámica	Geodinámica externa
		Geomorfología	Topografía
		Geomorfología	Pendiente
		Hidrología	Parámetros morfológicos
			Parámetros hidrológicos
	Estudio Geotécnico	Hidrología	Parámetros hidrogeológicos
		Prospección directa	Perforación diamantina
		Prospección directa	SPT y DPL
		Mecánica de suelos	Calicata
			Parámetros geomecánica del suelo
		Mecánica de rocas	Parámetros geomecánica de la roca
		Geofísica	MASw
		Geofísica	Resistividad



1.10.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7: Tabla de técnicas e instrumentación.

Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentación
Litoestratigrafía	Litología	Observación	Mapa topográfico base
	Estratigrafía	Observación	Ficha de perfil estratigráfico
Geodinámica	Geodinámica interna y externa	Observación	Ficha de observación geodinámica y mapa base
Geomorfología	Topografía	Observación	Mapa base
Geomorfología Prospección directa	Pendiente	Observación	Mapa de pendientes
	Parámetros morfológicos	Observación	Mapa geomorfológico
	Perforación diamantina	Observación	Hoja de Logueo de campo
Prospección directa Mecánica de suelos y rocas	SPT y DPL	Observación	Hoja de registro de datos
	Calicata	Observación	Ficha de registro de campo
	Parámetros geomecánica del suelo	Observación	Registro de ensayos de insitu y laboratorio
Prospección indirecta - Geofísica	MASw	Observación	Registro de datos sísmicos
Prospección indirecta - Geofísica	Resistividad	Observación	Registro de datos eléctricos

1.11. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El desarrollo de la presente tesis se realizó de forma explicativa, analítico, descriptivo y explicativo. Y está conformada por las siguientes etapas. Todo el procedimiento se realizó con la finalidad de demostrar la hipótesis general.

1.11.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN (NO EXPERIMENTAL).

El trabajo está compuesto por diversos procesos de investigación de la zona estudiada enfocado a la geología y geotecnia, el cual se realizó ensayos, trabajo de campo, gabinete y



laboratorio, los datos obtenidos no se demostrarán mediante experimentos. Este tipo de investigación se denomina no experimental según (Hernández S, 2014).

1.11.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN (MIXTA)

La estrategia general que se usó para el trabajo de investigación fue tanto para un enfoque cualitativo (descripción transeccional) y cuantitativo (la exploración de datos). Según (Borja, 2016). Indica que “El investigador no intervendrá en el análisis de variables. Por su parte es del tipo trasversal porque se recolectará la información por única vez al inicio de la investigación”

1.11.3. FASE O ENFOQUE (CUALITATIVO Y CUANTITATIVO) Y ALCANCE.

Nos basamos en la descripción local y regional de unidades geológicas (geomorfología, estructural, geodinámica, litología e hidrogeología), como también a la descripción cuantitativa mediante la obtención de datos geomecanico de los suelos y las rocas. Según Hernández S, (2014) “En la aproximación cualitativa hay una variable de aproximaciones o marcos que guardan un común denominador, a esto se lo denomina en enfoque hibrido o mixto”.

- Descriptivo: Se trata de la identificación, descripción, análisis, clasificación de las características geológicas, geomorfológicas e hidrología de la zona de estudio.
- Explicativo – Correlacional: Por que permitirán determinar los diseños geométricos de las cimentaciones según los parámetros obtenidos mediante las exploraciones directas e indirectas (geofísica, geotecnia) según litología y la profundidad.

1.11.4. ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

ETAPA DE GABINETE I (PRE CAMPO)

Se realizo las siguientes labores:



- Recopilación de información, mapas, cuadros, datos de campo y laboratorio, estudios, informes, tesis, papers, relacionados al tema de tesis de diferentes fuentes bibliográficas o virtuales.
- Preparación de mapas topográficos (base), Ubicación, Accesibilidad a partir de imágenes satelitales.
- Se realizo el cronograma de actividades de campo.
- Búsqueda de asesoría profesional tanto académicos como profesionales externos conocedores del tema.

ETAPA DE CAMPO I

- Ubicarse topográficamente en el campo, mediante una inspección de toda la zona de estudio.
- Realización de mapeo geológico a detalle de toda la zona de estudio (obtención de muestras de manos representativas de cada litología existente en la zona de estudio.
- Identificación, descripción y delimitación de la geología estructural (discontinuidades y deformaciones).
- Caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas a partir del cartografiado.
- Realización de pruebas de auscultación del suelo mediante calicatas de 3 metros de profundidad para determinar sobre qué tipo de suelo nos encontramos.
- Realización de ensayos geofísicos como Masw y prospección eléctrica hasta profundidades de 25 metros.
- Toma de fotos de rasgos geológicos de importancia para afianzar el trabajo.

ETAPA DE GABINETE II (POST CAMPO)

- En esta etapa se analizó y se clasifico toda la información obtenida en campo, y mediante esta información se da veracidad o se rechaza la información obtenida en la etapa de pre-campo.



- Se analizaron las muestras recogidas en campo, tanto de las calicatas como las muestras de mano, para determinar sus características geomecánicas y realizar su caracterización.
- Se consolidaron los datos obtenidos durante las etapas de campo y pre-campo, generando mapas geológicos locales y geomorfológicos.
- Se analizaron los datos provenientes de los ensayos geofísicos realizados en campo, los cuales fueron digitalizados en tablas y archivos Excel, para posteriormente procesarlos utilizando programas especializados.

ETAPA DE CAMPO II (CORRECCIÓN Y VERIFICACIÓN)

- Se realizó la corrección de los datos geológicos (geomorfológicos, litológicos y estructurales) obtenidos en campo que no concordaban en gabinete.
- Se corroboraron los mapas geológicos e hidrológicos.
- Se realizaron las perforaciones diamantinas correspondientes según la norma NTP, E-030. Las muestras obtenidas a profundidad fueron almacenadas y, si fue necesario, se les dio un Logueo geomecánico.

ETAPA DE GABINETE II (ETAPA FINAL)

- Etapa de Logueo geotécnico si es necesario, identificación de muestras recolectadas a profundidad y determinación de calidad del macizo rocoso.
- Elaboración y digitalización de mapas y/o planos detallados según el requerimiento de los objetivos del presente trabajo.
- Elaboración de anexos, donde se presentará fotos de la zona de estudio y descripción de cada fotografía y hojas de cálculos de los ensayos correspondientes.
- Análisis e interpretación de resultados.
- Redacción y corrección de informe final de tesis.
- Sustentación de la tesis.



1.11.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos, como un factor clave en la investigación, permite interpretar de manera cuantitativa y técnica los resultados obtenidos en campo, gabinete y laboratorio. Para ello, se emplearon herramientas informáticas como ArcGIS, Google Earth, Global Mapper, SAS Planet, software especializado en procesamiento geofísico, Microsoft Office, AutoCAD, Civil 3D, entre otros.

1.12. EQUIPOS Y MATERIALES

EQUIPOS

- Brújula
- GPS
- Cinta métrica
- Picota
- Pluviómetro
- Cámara fotográfica
- Cronómetro
- Cajas para muestro de suelo en Cubo.
- Equipos de laboratorio geotécnico (equipo de densidad natural cono de arena)

MATERIALES:

- Imagen satelital
- Mapas base: Topográfico, Geológico, Satelital.
- Tableros, colores, portaminas, regla.
- Papel milimétrico
- Bolsas para recolección de muestras
- Ácido clorhídrico
- Lupa, rayador y protactor (escalímetro)
- Chaleco
- Ponchos de agua



1.13. MARCO TEÓRICO

1.13.1. ASPECTO NORMATIVO

1.13.1.1. La norma E-050 de suelos y cimentaciones: Enfocada en recomendaciones y parámetros de suelos y cimentaciones, detalla los requisitos técnicos relacionados con la mecánica de suelos y la ingeniería de cimentaciones. Su propósito principal es orientar los Estudios de Mecánica de Suelos (EMS) que se realizan para diseñar cimentaciones de edificaciones y otras estructuras incluidas en la normativa. Estos estudios buscan garantizar la seguridad estructural de las obras y fomentar el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles. La normativa aplica a cualquier estudio de suelos en el ámbito nacional y toma en cuenta los fenómenos relacionados con la geodinámica externa. Dentro de la norma todos los capítulos nos dan lineamientos para realizar una exploración de estudio, recomendaciones para su análisis y estandarizaciones para sus cálculos. (Norma E.50, 1997).

1.13.1.2. La norma E.30 diseño sismorresistente: Nos establece los requerimientos mínimos para garantizar que las edificaciones tengan un comportamiento adecuado ante sismos, reduciendo al máximo los daños estructurales. Esta normativa es de aplicación obligatoria tanto para nuevas edificaciones como para el reforzamiento y reparación de estructuras existentes que hayan sido afectadas por eventos sísmicos. Los diseños estructurales deben contar con la aprobación del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y se debe demostrar que las soluciones propuestas cumplen con los criterios de rigidez, resistencia sísmica y ductilidad necesarios. Además, para estructuras específicas como tanques, silos, reservorios, puentes, torres de transmisión, muelles y otras con características sísmicas particulares, esta norma puede aplicarse en los aspectos que sean pertinentes, como en los capítulos 3, 4, 5 y apéndice A, que nos da lineamientos para un análisis más detallado de la dinámica del suelo (Norma E.30, 2014).



1.13.1.3. Normas ASTM: normas requeridas: La ASTM Internacional proporciona una variedad de técnicas, documentos técnicos e información especializada que son útiles para determinar parámetros geotécnicos, entre otros. Estas normas son ampliamente aplicables en diversos campos, como la geotecnia, la industria de hidrocarburos y los concretos. Su implementación permite a las empresas mejorar tanto la calidad de sus procesos como su competitividad, beneficiando de manera directa a las personas. En nuestro caso particular, se utilizarán las normas de la ASTM para realizar ensayos tanto in situ como en laboratorio.

1.13.2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

1.13.2.1. ASPECTO GEOLOGICO

1.13.2.1.1. INGENIERIA GEOLOGICA: La ingeniería geológica se consolidó como una especialidad independiente de la geología durante el siglo XX, impulsada por el desarrollo de grandes obras públicas y la expansión urbana. Este campo adquirió mayor relevancia tras varios desastres asociados a fallas geológicas que resultaron en rupturas de presas y consecuencias graves, incluyendo la pérdida de numerosas vidas humanas. Ejemplos significativos incluyen las fallas de la presa de San Francisco en California (1928), la de Malpasset en Francia (1959) y la de Vajont en Italia (1963) (González de Vallejo, 2004).

1.13.2.1.2. ESTUDIO GEOLÓGICO: Un estudio geológico comprende tanto investigaciones realizadas en campo como análisis en gabinete, y está condicionado por las características geológicas del área de interés. Este tipo de estudio abarca diversos aspectos, como la geotecnia, la hidrología y la geo ambiental. Es esencial que la investigación geológica garantice que los factores geológicos y geotécnicos que puedan influir en la seguridad de las estructuras sean evaluados e investigados de manera adecuada (Vallejo, 2004).

1.13.2.1.3. ESTRATIGRAFIA: Se puede definir como el análisis e interpretación de los procesos que se documentan en las secuencias de sedimentos, lo que permite no solo comprender la naturaleza y disposición de las rocas estratigráficas, sino también correlacionar



los materiales y eventos, así como establecer un orden temporal preciso de las secuencias de materiales y acontecimientos (Hedberg, 1980).

Otra forma de definirlo es como la disciplina de la geología que se ocupa del análisis e interpretación de las rocas sedimentarias y estratificadas, así como de la identificación y descripción de las secuencias, tanto verticales como horizontales, además de la cartografía y correlación de las unidades estratigráficas de las rocas (Weller, 1960).

1.13.2.1.4. GEODINÁMICA: La geodinámica se ocupa del análisis de las fuerzas, tanto internas como externas, que influyen en la Tierra a distintas escalas, y de cómo estas fuerzas dan lugar a fenómenos naturales como las mareas, el desplazamiento de las placas tectónicas, los sismos y la formación de continentes, montañas y cuencas. Utiliza principios de la física para crear modelos que expliquen fenómenos como la convección del manto, la generación del campo magnético, las erupciones volcánicas, la deformación de la corteza terrestre y las variaciones en el nivel del mar. Además, este campo también se aplica al estudio de la dinámica de otros cuerpos celestes (Baptiste Tary, Pearse, & Molina, n.d, 2022).

1.13.2.1.5. GEOMORFOLOGÍA: La geomorfología es una rama de las ciencias naturales que se centra en el estudio del relieve de la superficie terrestre. Su nombre proviene de tres palabras griegas: "ge" (tierra), "morfé" (forma) y "logos" (estudio). Las diversas formas del relieve terrestre se originan a partir de la interacción entre procesos exógenos, que operan en la superficie, y procesos endógenos, que afectan las rocas en la superficie terrestre. Esta interacción genera rasgos del relieve que varían desde grandes estructuras como océanos y continentes, hasta pequeñas cárcavas y formas cársticas. Aunque la definición general sugiere que la geomorfología estudia tanto las superficies emergidas como los fondos oceánicos, se reconoce que los procesos morfogénicos son distintos en cada caso. Por ello, se ha determinado que la geomorfología se concentre en las formas medias y pequeñas del relieve, mientras que



el estudio del relieve submarino se asigna a la iconología y la geotectónica se ocupa de las grandes estructuras planetarias (Rodríguez, 2000).

1.13.2.1.6. HIDROLOGIA: La hidrogeología investiga cómo se almacenan y comportan las aguas subterráneas, considerando su origen, su movimiento, las condiciones geológicas que influyen en ellas y su interacción con suelos, rocas y humedales. También analiza el estado y las propiedades de estas aguas, que abarcan características físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas. En contraste, la hidrología, que es una rama de las geociencias, se dedica al estudio del agua y su influencia en la superficie terrestre, incluyendo su distribución, circulación y propiedades físicas, químicas y mecánicas en océanos, atmósfera y en la tierra (Revista Ciencias de la Tierra, 2021).

1.13.2.2. ASPECTO GEOTÉCNICO

1.13.2.2.1. GEOTECNIA: La geotecnia es una especialidad de la geología que se enfoca en aplicar principios geológicos para investigar los materiales naturales, como las rocas, que forman la corteza terrestre. Esta disciplina es esencial en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería civil, incluyendo autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos, viviendas y edificios en general (México, 2015).

1.13.2.2.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO: Se entiende como un compendio de información cuantificada sobre las características del terreno en relación con el tipo de construcción proyectada y su entorno, lo cual es esencial para realizar el análisis y dimensionamiento de los cimientos de dicha obra. A través del estudio geotécnico, se determinan las cimentaciones más adecuadas para la edificación planificada, teniendo en cuenta:

- El tipo de edificación o ejecución de obra civil.
- Las características del terreno sobre el que se va a asentar la construcción.

Desarrollo de un estudio geotécnico.



El proceso de un estudio geotécnico puede variar según el tipo de proyecto, pero generalmente incluye tres etapas comunes:

Campaña In Situ: Esta fase implica que un técnico especializado visite el terreno para examinar diferentes factores, como la topografía, la presencia de agua y la inclinación de los taludes. El objetivo es adquirir una visión general del sitio que permita establecer las condiciones geotécnicas. Entre las técnicas más comunes utilizadas en esta etapa se encuentran calicatas, penetrómetros, sondeos y ensayos SPT (España, 2022).

Campaña de Laboratorio: Después de recolectar las muestras en el campo, estas se envían a un laboratorio donde se realizan diversas pruebas, determinadas según las necesidades específicas del proyecto. En esta etapa se llevan a cabo análisis químicos, caracterizaciones y ensayos mecánicos (España, 2022).

Redacción de informe: Este documento incluye una descripción del contexto geológico de la zona estudiada, así como un detalle de las propiedades geotécnicas encontradas y recomendaciones para el diseño y la construcción. Se indica, por ejemplo, cuál sería el tipo de cimentación más adecuada, ya sean zapatas o pilotes, y el formato del informe puede adaptarse a las normativas y requisitos específicos del proyecto (España, 2022)

1.13.2.2.3. PROSPECCIÓN DE SUELOS: La prospección directa de suelos consiste en la recolección de muestras físicas del suelo para su análisis en un laboratorio. Este proceso puede incluir actividades como perforaciones, excavaciones y ensayos realizados in situ, con el fin de obtener muestras que sean representativas del subsuelo. Los métodos de prospección directa pueden variar y su efectividad depende del tipo de material encontrado y de la manera en que se apliquen. Todos estos métodos deben cumplir con las normativas establecidas por la ASTM (Gliessman & Rosemeyer, 2022).



Tabla 8: Técnicas y normas aplicables.

Técnica	Norma aplicable
Pozos o Calicatas y Trincheras	ASTM D 420
Técnicas de Muestreo	ASTM D 1194
Prueba de Carga	ASTM D 1452
Procedimiento Manual	ASTM D 1586
Ensayo de Penetración Estándar	ASTM D 2487
Descripción Visual de Suelos	ASTM D 2488
Corte Mediante Veleta Normal	ASTM D 3441
Corte Mediante Veleta Miniatura	ASTM D 4648
Auscultación Dinámica con Cono Tipo Peck	Versión 2.2.2 de la Norma
Auscultación Dinámica (DPC) con Cono Alemán	DIN 4094

Nota: Adaptado de catálogo de normas ASTM

1.13.2.2.4. ENSAYOS GEOTÉCNICOS Y GEOFÍSICOS:

1.13.2.2.4.1. Ensayo de refracción sísmica: El ensayo de refracción sísmica es un método de exploración geofísica que permite inferir la estratigrafía del subsuelo de manera indirecta, mide variaciones de las propiedades de los materiales presentes. Este procedimiento implica medir los tiempos de viaje de las ondas de compresión (ondas P) que son generadas por una fuente de energía impulsiva, registrando estas medidas en puntos específicos a distancias preestablecidas a lo largo de un eje en la superficie terrestre (Rivera & Piedra, 2022).

1.13.2.2.4.2. Ensayo de Penetración Estándar (SPT): El ensayo in situ se lleva a cabo dentro de los pozos de perforación durante la fase de sondajes. Este procedimiento permite determinar la resistencia a la penetración, conocida como valor N, que puede relacionarse con otros parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y los asentamientos en suelos granulares. Se obtiene una muestra alterada que puede ser utilizada para realizar ensayos de identificación en el laboratorio (Vallejos, 2002).



1.13.2.2.4.3. Sondeo profundo (perforación rotacional y percusión): Este método utiliza un sistema de perforación por percusión con golpes continuos, empleando una herramienta de corte pesada que se eleva mediante un cable de acero y se deja caer sobre el suelo, fragmentándolo debido al impacto de la tubería. La frecuencia de golpeo varía entre 40 y 50 golpes por minuto, y la eficiencia del proceso puede alcanzar de 2 a 4 metros por día en suelos duros, mientras que en suelos blandos se puede lograr una profundidad de entre 10 y 20 metros (Hidrogeología y Pozos, 2017).

1.13.2.2.4.4. Densidad in-situ: Es un ensayo que permite calcular in situ el valor de la densidad natural de los suelos, especialmente en suelos sin cohesión, arenas y gravas, los cuales representan un reto al usar otros métodos, ya que por lo general no se logran obtener muestras inalteradas en suelos con estas características.

Tabla 9: Parámetros para ensayo de Densidad Insitu.

Tamaño Máximo de la Partícula	mm	Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo (cm ³)	pies ³
½	12.5	1420	0.05
1	25.0	2120	0.075
2	50.0	2830	0.10

Nota: Adaptado de manual de ensayo de materiales MTC.

1.13.2.2.4.5. Prospección indirecta (auscultación) DPL: El Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL), forma parte de una serie de ensayos IN SITU, que sirve para estimar el ángulo de fricción interno de los suelos. Aunque el método provee valores estimados, se obtienen resultados razonables iniciales. El objetivo de este ensayo busca estimar, a través del número de golpes, el ángulo de fricción interno mediante el análisis de correlaciones.

El ensayo DPL es un método de prospección indirecta (auscultación) para análisis geotécnico de suelos que permite estimar la resistencia de los suelos a través del número de golpes



Tabla 10: Datos técnicos del equipo DPL.

Características del equipo	Factor	DPL
Características del martillo	Peso del martillo (kg)	10 ± 0.1
	Altura de caída (m)	0.5 ± 0.01
	Masa guía y yunque (kg)	6
	Rebote (máx.%)	50
	Relación larga a Diámetro (D) del martillo	$1 \leq 2$
	Diámetro de yunque (d), mm	$100 < d < 0.5D$
Características de la varilla	Longitud de la varilla (m)	$1 \pm 0.1\%$
	Masa máxima de la varilla (kg/m)	3
	Desviación máxima de la varilla en los primeros 5 m (%)	0.1
	Desviación max. de la varilla debajo de los 5 m (%)	0.1
	Excentricidad de la varilla (máx.), mm	0.5
	Diámetro exterior de la varilla, mm	22 ± 0.2
	Diámetro interior de la varilla, mm	22 ± 0.2
	Ángulo del cono, grados	90
Características del cono	Área nominal del cono, cm ²	10
	Diámetro del cono nuevo, mm	35.7 ± 0.3
	Diámetro del cono gastado, mm	34
	Longitud tramo recto del cono, mm	35.7 ± 1
	Ángulo de la parte inclinada del cono, grados	11
	Longitud de la punta del cono, mm	17.9 ± 0.1
	Desgaste máx. de la longitud de punta del cono, mm	1
	Número de golpes por cm de penetración	10 cm, 110
Penetración	Rango estándar del N° de golpes	$3^\circ \pm 100$
Energía por golpe	Trabajo específico por golpe, MgH/A KJ/m ²	50

Nota: Adaptado de norma DIN 4094.

1.13.2.2.5. ENSAYO EN LABORATORIO:

1.13.2.2.5.1. Límite plástico (ASTM D 4318): El límite plástico se refiere al contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el cual un suelo pierde su capacidad de mantenerse unido al formarse en hilos de 3.2 mm de diámetro. Este valor representa el punto más bajo del estado plástico del suelo. La prueba para determinar este límite es sencilla y consiste en hacer rodar repetidamente una masa de tierra con forma elipsoidal sobre una superficie de vidrio esmerilado. El procedimiento detallado para llevar a cabo esta prueba se especifica en la norma ASTM D-4318 (Braja, 2013).



1.13.2.2.5.2. Limite liquido (ASTM D-4318): El límite líquido se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, necesario para que un suelo logre cerrar una distancia de 12.7 mm en la parte inferior de una ranura. El procedimiento para llevar a cabo la prueba de límite líquido está estipulado en la norma ASTM D-4318. Ajustar el contenido de humedad del suelo para alcanzar el cierre de 12.7 mm con 25 golpes resulta ser un desafío. Debido a esto, se recomienda realizar al menos cuatro pruebas con diferentes niveles de humedad para determinar el número de golpes N, que varía entre 15 y 35, necesarios para lograr el cierre requerido (Braja, 2013).

1.13.2.2.5.3. Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422-63)

La granulometría es el análisis de la distribución de las partículas de un suelo según su tamaño, el cual se determina a través del proceso de tamizado, que consiste en hacer pasar el agregado por mallas de diferentes diámetros hasta llegar al tamiz N° 200 (con un diámetro de 0.074 mm). El material que pasa por esta malla se considera globalmente. El objetivo principal de la granulometría es obtener la distribución del tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, lo que también permite su clasificación mediante sistemas como AASHTO o SUCS (Braja, 2013).

1.13.2.2.5.4. Contenido de Humedad Natural (ASTM D-2216)

El contenido de humedad de una muestra indica la cantidad de agua que esta contiene, expresada como un porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos. Teniendo en cuenta los resultados del laboratorio, se resumen los valores de humedad que presentan los suelos (Braja, 2013).



1.13.2.2.5.5. Ensayo de corte directo en suelos NTP 339.171 (ASTM D3080):

Los ensayos de corte tienen como objetivo determinar la resistencia de una muestra de suelo al someterla a deformaciones o fatigas que imitan las condiciones que se generan o se generarán en el terreno debido a la aplicación de una carga. En el laboratorio, se utiliza el aparato de corte directo para medir una de estas resistencias. Este aparato consiste comúnmente en una caja de sección cuadrada o circular, que está dividida en dos mitades horizontales. Se coloca la muestra de suelo, junto con piedras porosas, dentro de la caja. Luego, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v), seguida de una carga horizontal (P_h) que aumenta gradualmente. La carga horizontal provoca el desplazamiento de la mitad móvil de la caja, lo que causa el corte de la muestra.

El ensayo induce la falla a través de un plano determinado. Sobre este plano de falla actúan dos esfuerzos:

- Un esfuerzo Normal (σ_n), aplicado externamente debido a la carga vertical (P_v).
- Un esfuerzo cortante (τ), debido a la aplicación de la carga horizontal. Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área (A) de la muestra o de la caja de corte y deberían satisfacer la ecuación de Coulomb

$$\tau = c + \sigma_n * \operatorname{Tg}(\varphi)$$

Dónde:

σ_n = Esfuerzo normal total en el plano de falla

φ = Angulo de fricción del suelo

c = Cohesión del suelo

Según esta ecuación, la resistencia al corte depende tanto de la cohesión (c) como de la fricción interna del suelo (φ). Al aplicar la carga horizontal, se miden las deformaciones, y con estos datos es posible graficar la tensión de corte (τ) en función de la deformación (ϵ) en el plano de

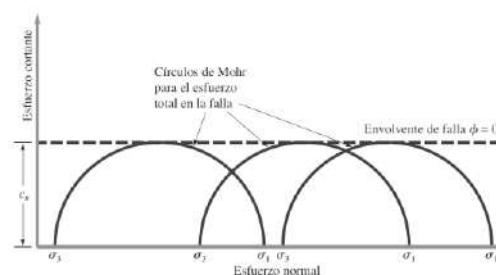
la tensión de corte. De esta gráfica, se puede obtener el valor máximo de tensión de corte, que se considera la resistencia al corte del suelo (Braja, 2013).

1.13.2.2.5.6. Ensayo de compresión triaxial en suelos U.U.: La prueba triaxial de corte es uno de los métodos más confiables disponibles para la determinación de los parámetros de resistencia cortante. Es ampliamente utilizada para la investigación y las pruebas convencionales. La prueba se considera confiable por las siguientes razones:

1. Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo que la prueba de corte directo no.
2. Proporciona condiciones de esfuerzo más uniformes que la prueba de corte directo al hacer su concentración de esfuerzos a lo largo del plano de falla.
3. Proporciona más flexibilidad en términos de la trayectoria de carga.

Por lo general, la prueba no consolidada–no drenada se lleva a cabo en muestras de arcilla y depende de un concepto de resistencia muy importante para suelos cohesivos saturados. El esfuerzo axial adicional a la falla $(\Delta\sigma)_f$ es prácticamente el mismo, independientemente de la presión de confinamiento de la cámara. Este resultado se muestra en la figura 10.23. La envolvente de falla para los círculos de Mohr del esfuerzo total se convierte en una recta horizontal y, por lo tanto, se denomina condición $\phi = 0$, y $T_f = C_u$, donde C_u es la resistencia cortante no drenada y es igual al radio de los círculos de Mohr. (Braja, 2013).

Figura 5: Círculos de Mohr para el esfuerzo total y la envolvente de falla, triaxial U.U



Nota: Extraído de Fundamentos de ingeniería geotécnica. (Braja Das, 2013).



1.13.2.2.6. SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADO SUCS

El Sistema Uniforme de Clasificación de Suelos (USCS), presentado por Arthur Casagrande, se utiliza para describir la textura del suelo y el tamaño de las partículas. Este sistema de clasificación se puede aplicar a la mayoría de los materiales no aglomerados, y se pueden clasificar los tamaños de suelo de menos de tres (3) pulgadas. ; denotado por la B de dos letras.

Los suelos de grano grueso y de grano fino se distinguen por tamizar el material a través de un tamiz No. 1.200 y es bueno si más del 50% de sus partículas son más pequeñas que el tamiz especificado; Esta clasificación divide los suelos en 2 grupos: Suelos gruesos y Suelos finos

Tabla 11: Símbolos Utilizados en la Clasificación SUCS.

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobrementemente gradada	P
Limo	M	Limoso	C
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (>50)	H

Nota: Adaptado de Fundamentos de ingeniería geotécnica. (Braja Das, 2013).

1.13.2.2.7. GEOFISICA

La geofísica es una disciplina que se deriva de la geología y se enfoca en el estudio de las propiedades físicas del planeta Tierra. Esta ciencia abarca aspectos como la investigación de la composición interna de la Tierra, el flujo de calor que emana de su interior, la gravedad que genera el campo gravitacional, la fuerza magnética de atracción producida por un magneto ideal en el núcleo terrestre que da origen al campo geomagnético, y la propagación de ondas sísmicas a través de las rocas en la corteza terrestre (México, 2015).



1.14. MARCO CONCEPTUAL

1.14.1. CUENCA: Una cuenca hidrográfica es una zona geográfica en la que las precipitaciones que caen sobre ella se dirigen hacia un único punto de salida a través de un sistema de corrientes, como si el área fuera impermeable (Campos, 1998).

1.14.2. MUESTREO DE SUELOS: El proceso de muestreo e identificación de los materiales del subsuelo requiere técnicas avanzadas, influenciadas por las condiciones geológicas y geográficas del área, además de depender del conocimiento y la experiencia del personal encargado (Aguirre, 2012).

1.14.3. TOPOGRAFIA: La topografía es la disciplina que estudia y representa el relieve de la superficie terrestre, incluyendo tanto los aspectos naturales como artificiales. Los topógrafos emplean herramientas especializadas, como teodolitos y estaciones totales, para medir distancias, ángulos y altitudes con el fin de crear mapas precisos (Paul, 1970).

1.14.4. COBERTURA VEGETAL: La cobertura vegetal influye positivamente en los suelos coluviales, reforzando los sistemas de raíces y contribuyendo a la estabilidad de los taludes. La deforestación, por el contrario, reduce esta estabilidad y puede provocar deslizamientos. Las raíces de las plantas ayudan a consolidar el suelo y, en ocasiones, incluso lo anclan a la roca subyacente, especialmente en suelos poco profundos (Aguirre, 2012).

1.14.5. SISMICIDAD: La sismicidad juega un papel crucial en la activación de deslizamientos. Los suelos coluviales, debido a su baja cohesión y a su falta de confinamiento, tienen una alta susceptibilidad a la licuación en condiciones sísmicas, especialmente cuando se encuentran en taludes pronunciados (Aguirre, 2012).

1.14.6. NIVEL FREÁTICO: El nivel freático es la superficie que indica el límite superior de la capa saturada de agua en el suelo, donde los poros están completamente llenos de agua. Este nivel varía dependiendo de factores como el clima, la estación del año y la



topografía, entre otros. Un nivel freático alto indica que el agua está cerca de la superficie, mientras que uno bajo indica que se encuentra más profundo (Todd, 1959).

1.14.7. RIESGO SÍSMICO: Los estudios sobre el riesgo sísmico se realizan para determinar cómo varía la aceleración máxima del suelo en un país, con el fin de usar estos datos en la planificación de diseños sismorresistentes y para establecer los parámetros sísmicos en obras de ingeniería civil (Alva & Jorge, 2021).

1.14.8. MAGNITUD: La magnitud de un sismo se refiere a una medida cuantitativa del tamaño del evento sísmico, vinculada a la energía liberada durante la ruptura en una falla. Según Richter, la magnitud se determina como el logaritmo en base 10 de la amplitud máxima de la onda sísmica registrada en un sismómetro ubicado a 100 kilómetros del epicentro (Richter, 1935)

1.14.9. INTENSIDAD: La intensidad sísmica mide los efectos de un sismo en un lugar específico. Un sismo cercano, aunque pequeño, puede causar grandes daños, mientras que uno muy fuerte pero distante puede tener una baja intensidad en ese lugar (Richter, 1935).



CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de la zona de estudio está determinada por procesos neotectónicos como también por procesos de erosión principalmente por factores climáticos, como es la deposición de material arrastrado desde los andes hasta la selva baja, acumulaciones de terrazas en zonas bajas, la presencia de material suelo y poco rocosos favorece a la erosión y formaciones de unidad geomorfológicas definidas. La geodinámica interna y principalmente la externa son los factores principales.

2.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

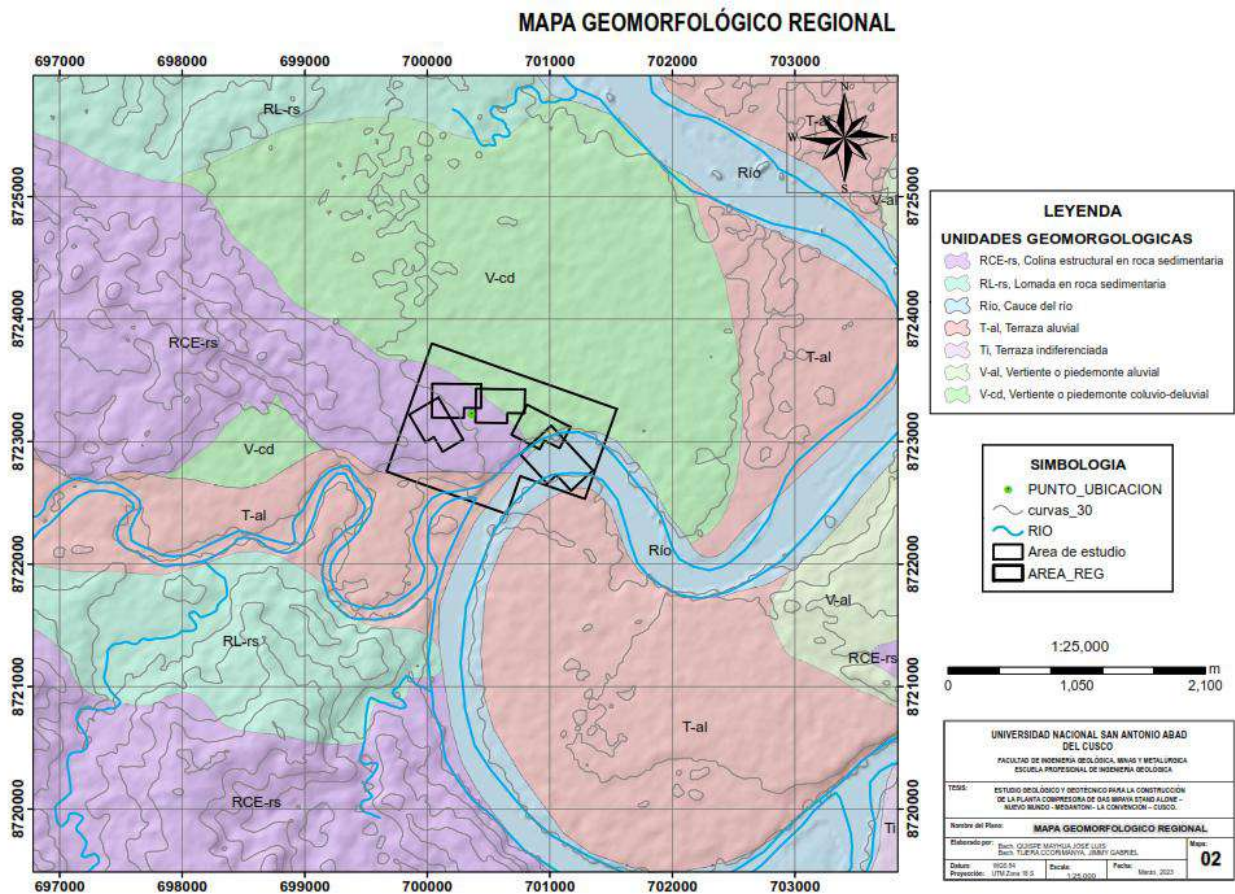
La morfología del área evaluada es un resultado de procesos tectónicos degradacional y erosional, la degradación de las litologías presentes en la cuenca y cuencas de quebradas superiores en conjunto con agentes climáticos generan la meteorización del terreno dando lugar a geoformas comunes en zonas de selva bajas como son las vertientes o piedemonte de materiales aluviales o coluviales, la formación de terrazas aluviales y diferenciadas son resultados de la deposición de material erosionado y puestos en las partes bajas de las laderas.

Según estudios previos como se plasman en el cuadrángulo de Quiriguetti 24-p la superficie que representa el área de estudio está conformada por una extensa superficie de llanuras aluviales, este se ubica en el flanco derecho de la cordillera oriental teniendo los rasgos geomorfológicos más resaltantes comenzando montañas, colinas, laderas estructurales, vertientes y llanuras amazónicas.

Se identifico en el siguiente mapa a escala regional 1:2500 que la zona de estudio en su mayor extensión se encuentra sobre una vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), la segunda geoforma que más predomina son las colinas estructurales en roca sedimentaria (RCE-rs) ubicadas al oeste del sitio estudiado, y al sur se encuentran en predominancia la geoforma de terrazas aluviales (T-al) dispuestos en los lechos de ríos y antiguas zonas fluviales.

Las geoformas identificadas son características por presentar baja pendiente y en su mayor extensión son clasificadas como planas a inclinadas según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), estas presentan una implicancia clave para la construcción de la planta, nos da ventajas ante la estabilidad de la estructura, accesos, menor erosión del suelo y reducirá los cortes del terreno.

Figura 6: Mapa geomorfológico regional de zona de estudio.



Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.

2.1.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Identificados según las características que presentan, usando la caracterización según (Villota, 2005). Podemos observar unidades de carácter degradacional – erosional como las colinas, lomadas y piedemonte, resultantes de procesos morfodinámicos de denudación de los relieves iniciales. También se identifican unidades de carácter deposicional – agradacional



como las planicies inundables dentro de ellas se encuentran las terrazas aluviales, estas presentan procesos morfológicos constructivo que tratan de nivelar la superficie de la tierra hacia arriba mediante la deposición de materiales solidos erosionados.

Tabla 12: Unidades morfológicas identificados según la caracterización de Villota, 2005.

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional – erosional y Depositional - agradacional.	
Unidad	Sub unidad
Colinas y lomadas	Colinas estructurales en roca sedimentaria
	Lomadas en roca sedimentaria
Piedemonte	Vertiente o piedemonte aluvial
	Vertiente o piedemonte coluvial-deluvial
Planicie inundable	Terraza aluvial
	Terraza indiferenciada

2.1.1.1. Unidad de colinas y lomadas

Esta unidad es una de las dos geoformas que más abarca el área de estudio, en las cuales se puede diferencia dos tipos de colinas (colinas y lomadas). Se encuentra con relieves suaves con diferentes grados de disección, presentan menor altura que una montaña (menos de 300 m desde el nivel base local); además, presentan una inclinación promedio de 16% en sus laderas con cimas muy estrechas, mientras que las lomadas son de similar altura que las colinas, pero sus cimas con más amplias, redondeadas y alargadas con pendientes menores (8% a 16%). Esta geoforma puede incidir de manera positivamente y negativamente a la investigación y cimentación de la planta, la presencia de alturas menores a 300 m seria un desafío para los accesos, las pendientes favorecerían a un mejor flujo de los drenajes pero estos deberían ser controlados, entre otros.



Figura 7: Unidad de colinas y lomadas de baja pendientes.



2.1.1.1.1. Sub unidad de colinas estructurales en roca sedimentaria

Esta subunidad es característico por el afloramiento de rocas de origen sedimentario afectados por procesos técnicos elevándolos hasta 100 m de altura según se observó en la zona y posteriormente erosionados, son características la presencia de capas de rocas sedimentarias con forma alargadas o irregulares, que reflejan la estructura de la capa que ha sido deformadas.

2.1.1.1.2. Sub unidad de Lomada en roca sedimentaria

Esta sub unidad se encuentran conformadas en capas o estratos de roca sedimentaria como las areniscas, gravas y lutitas presentes en la zona de estudio, producidos por tectonismo y formando zonas elevadas con alturas menores a 30 m y menos pronunciadas que una colina. Posteriormente son afectados altamente por proceso de denudación formando zonas escapadas y pendientes menores de 10%. Es característica pendiente bajas y cimas más achatadas y erosionadas con presencia de abundante vegetación

Figura 8: Lomada de cima amplias y alargadas.



2.1.1.2. Unidad de piedemonte

Esta unidad geomorfológica son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos, los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales solidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados. Los materiales depositados normalmente son poco consolidados con una cohesión y capacidades portantes variables, estos inciden de manera favorable al movimiento de tierra y son suelos mas permeables, pero seria desfavorables al ejercer cargas estructurales, en casos como esos será necesarios realizar obras de mejoramiento o remplazos de suelos.

2.1.1.2.1. Sub unidad Vertiente o piedemonte aluvial

Esta subunidad presenta pendientes inclinada y extendida, posicionada al pie de sistemas montañosos de menor escalas como las colinas y lomadas. Está conformada por la acumulación de sedimentos de areniscas, gravas y lutitas acarreados por corrientes de agua estacionales o excepcionales (flujo de detritos), que pueden formar abanicos.

2.1.1.2.2. Sub unidad Vertiente o piedemonte coluvial-deluvial



Esta sub subunidad está formada por agrupaciones de depósitos de piedemonte de origen gravitacional y fluvio-gravitacional, que se acumulan en las vertientes o márgenes de las vertientes; en muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos, constituyendo escombros de laderas subangulosas a angulosos.

2.1.1.3. Unidad de planicie inundable

Esta unidad es formada en áreas adyacente al río y zonas de inundación, por procesos de desbordamientos repetidos en crecidas de caudales y deposición de material arrastrado por los ríos y laderas, presentan extensiones de gran tamaño en zonas de selva baja por la baja pendientes de los terrenos y son geoforma de crecimiento por la acumulación de materiales arrastrados por flujos de agua. Esta unidad incide de manera positiva a la investigación y construcción de la planta, reduce la necesidad de nivelación de suelo y las cimentaciones sobre estos sedimentos no cohesivos nos da una mejor estabilidad.

2.1.1.3.1. Sub unidad de terraza aluvial

Esta subunidad está conformada por acumulaciones de materiales antiguos dispuestos en niveles, generados por sedimentación fluvial, son terrenos con pendientes bajas, se encuentran a mayor altura que el río, dispuestos a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes pluviales y fluviales (Vílchez et al., 2013).

2.1.1.3.2. Sub unidad de terraza indiferenciada

Esta subunidad consiste en paisajes planos y ligeramente inclinados que se encuentran a alturas superiores a los ríos o valles, conformados por material arrastrados por los ríos y de posicionados de tal forma que es muy difícil diferenciar los grados de erosión y de pendiente.

Figura 9: Se aprecia terrazas aluviales, aledañas al rio Urubamba.

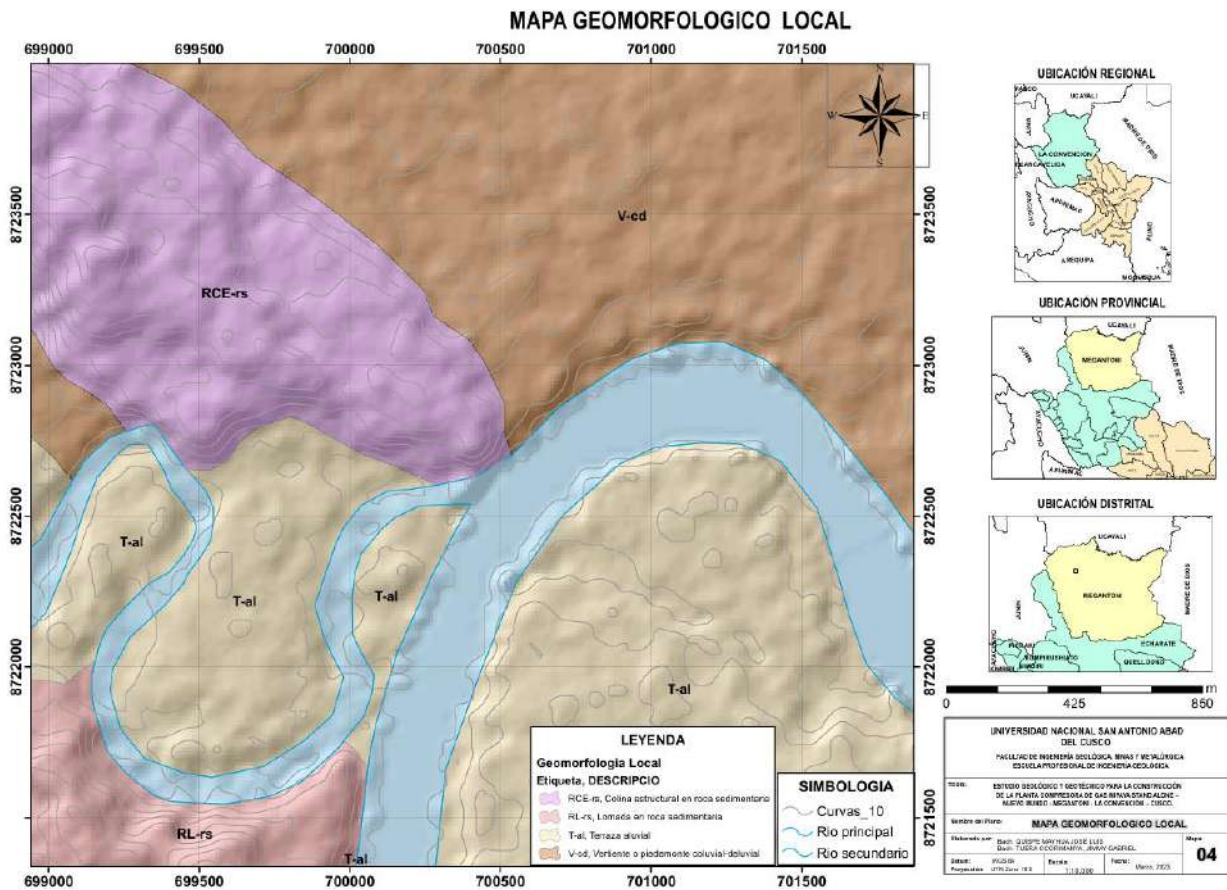


2.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

2.1.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES

La zona asignada de Mipaya localmente se encuentra en el flanco izquierdo del río Urubamba al sur-oeste de la base de operaciones de Nuevo mundo, esta zona es característico por la presencia de materiales aluviales y fluvio aluviales que fueron depositados por fenómenos de carácter deposicional – agradacional. Se evidencia la existencia de una colina de baja pendiente con cimas achatadas y alargadas, en proceso de erosión por factores climáticos como la lluvia y gravedad. Se llegó a identificar 3 geomorfos importantes los cuales son: Colina estructural en roca sedimentaria, Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y Terrazas aluviales.

Figura 10: Mapa geomorfológico local de la zona de estudio.



Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.

2.1.2.1.1. Sub unidad de colina estructural en roca sedimentaria

Esta subunidad está conformada por acumulaciones de materiales de arrastres antiguos dispuestos en estratos que por factores tectónicos regionales fueron elevados, se aprecia pendientes de 20 % en los flancos, con material aluvial en proceso de erosión que son arrastrados al pie de la colina, es característicos encontrar bolones y gravas con angularidades bien redondeada cubiertas por materiales arcillo limonos y arenosos.

2.1.2.1.2. Sub unidad vertiente o piedemonte coluvial-deluvial.

Ubicada en una zona de transición de las colinas estructurales a las terrazas aluviales, esta zona conocida como piedemonte son agrupaciones de material sedimentarios residuales que se arrastrados por la pendiente y depositaron en la base a causa de la gravedad como

también a causa de flujos de agua provenientes de las precipitaciones fluviales, se presenta como depósitos de materiales angulares en una matriz arcillo limosa con una densa vegetación sobre esta.

2.1.2.1.3. Sub unidad de terraza aluvial.

Esta subunidad corresponde a superficies de terreno plana y con pendiente pequeña que ha sido modelada por un río, generalmente sobre sus propios depósitos, y que está situada sobre el cauce mayor. Generalmente una terraza fluvial corresponde a una antigua llanura de inundación. Constituyen plataformas sedimentarias de diversos tamaños a manera de mesetas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río Urubamba que se depositan a los lados del cauce, en lugares donde la capacidad de arrastre del río se hace menor.

La terraza fluvial en la zona de estudio en la margen izquierda del río Urubamba, en la zona de Mipaya, ha sido formada por sucesivas etapas de agradación y erosión lateral de la acción fluvial, como se puede apreciar en la *Ilustración 11*, en esta zona el río hace una curva por donde erosiona y en etapas de divagación del río se ha producido la sedimentación de materiales arenosos y gravas, formando terrazas del tipo escalonadas.

Figura 11: Sub unidad de Terraza aluvial



Nota: Se aprecia gravas y boloneria en el margen izquierdo del río Urubamba.



2.3 PENDIENTES

Esta zona de llanura amazónica conformada por una superficie plana a ligeramente plana y con pequeñas ondulaciones como colinas y lomadas de escasos relieves, son las geoformas que más predominan, las pendientes en sus flancos y laderas son bajas, van desde los 0° zonas planas a inclinadas, hasta los 50° zonas ligeramente empinadas, esta última representa una porción mínima de la zona.

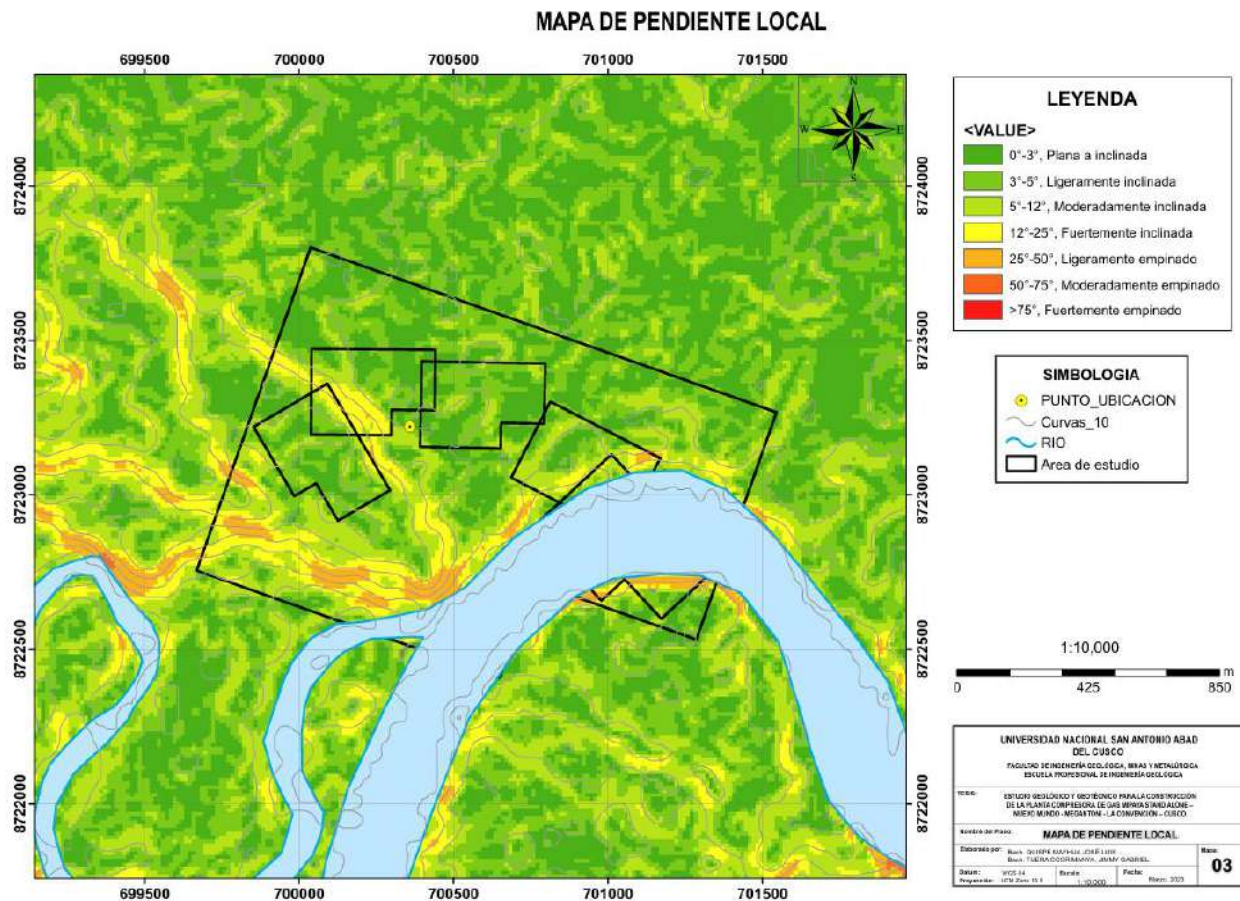
Para la elaboración del mapa de pendientes se ha tomada en cuenta la clasificación de la siguiente forma:

Tabla 13: Distribución de pendientes en la zona Mipaya Stand Alone

DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES EN ZONA DE MIPAYA STAND ALONE	
Rango	Descripción
0° – 3°	Plana a inclinada
3° - 5°	Ligeramente inclinada
5° - 12°	Moderadamente inclinada
12° - 25°	Fuertemente inclinada
25° - 50°	Ligeramente empinada
50° - 75°	Moderadamente empinada
Mayor 75°	Fuertemente empinada

Nota: Adaptado de la clasificación de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

Figura 12: Mapa de pendiente de la zona Mipaya Stand Alone.



Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.

Se analizan las geoformas de manera local, estas ofrecen una mezcla de ventajas y desafíos para la investigación y construcción de la planta compresora de gas. Desde las terrazas planas hasta las colinas más estables nos favorecen en la distribución de cargas y movimientos de suelos, las zonas planas nos facilitan el acceso, nos reduce los procesos de erosión y agradacion, los depósitos son normalmente materiales que drenan rápido los flujos de agua. Por otro lado, esta predominancia de zonas planas nos aumenta el riesgo hidrológico ante inundaciones o precipitaciones excesivas.



CAPITULO III: GEOLOGÍA

En el capítulo presente se detallará las principales formaciones geológicas del área de estudio que datan de la era Cenozoica inferior y estas pertenecen desde el sistema Paleógeno, neógeno y cuaternarios. La formación más antigua encontrada es la Fm. Yaguarango conformado por secuencias pelíticas y areniscosas (lodolitas y areniscas), sobre esta suprayace la formación chambira la cuales está conformada principalmente por lodolitas rojas intercaladas con capas gruesas de areniscas pardas claras. La formación Ipururo conformada por secuencias de areniscas compactas de color gris a marrón claro con intercalaciones lenticulares de limos y arcillas rojizas. Las formaciones más recientes pertenecientes al sistema cuaternario abarcan un gran porcentaje del área de estudio teniendo dentro de ellos a los depósitos fluviales y Aluvio fluviales.

3.1. ESTRATIGRAFÍA

La zona de estudio, donde se proyecta la construcción de la Estación Compresora Mipaya, se ubica sobre el cuadrángulo de Quiriguetti (hoja 24-p) a escala 1:100,000. En este cuadrángulo afloran rocas sedimentarias con edades que varían desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, pero durante el recorrido en la zona de estudio no se observaron afloramientos rocosos.

El Paleógeno en el cuadrángulo geológico de Quiriguetti (hoja 24-p) está evidenciado por la presencia de las Formaciones Yahuarango y Chambira, esta última infrayace con suave discordancia a las areniscas intercaladas con lodolitas y conglomerados de la Formación Ipururo. Como fase final de la secuencia sedimentaria, se tienen los depósitos holocénicos caracterizados por los depósitos aluvio fluviales y aluviales.

En Figura 13: Columna estratigráfica de la zona de estación compresora de Mipaya stand alone



se muestra la Columna Estratigráfica de la zona de estudio. A la base de la columna tenemos a la Formación Ipururo compuesta por rocas areniscas de color gris marrón a marrón claro con intercalaciones de limo arcillitas y arcillitas. Sobreyaciendo se encuentran los depósitos Holocénicos fluvio aluviales y aluviales, sobre los cuales se desarrollarán las actividades de extracción de gas.

Figura 13: Columna estratigráfica de la zona de estación compresora de Mipaya stand alone

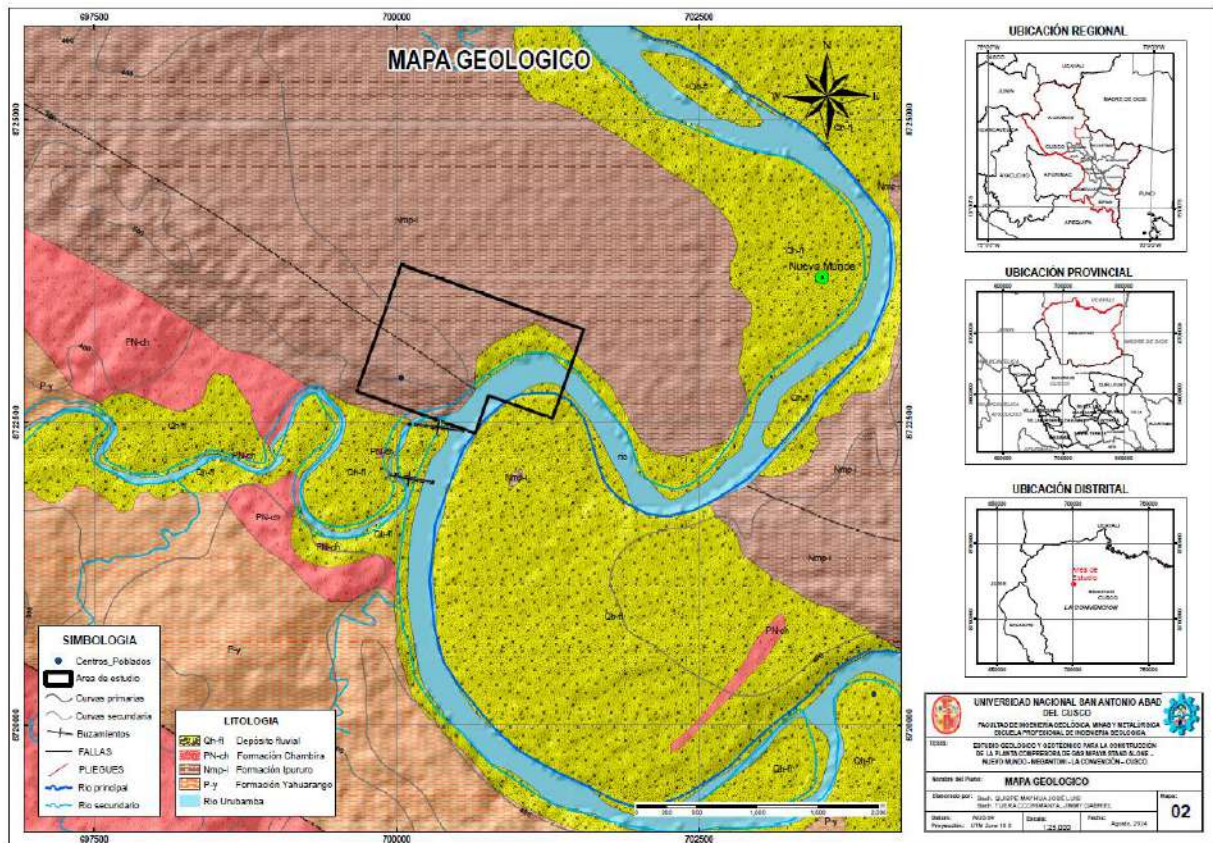
Era	Sistema	Serie	Edad	Tiempo (MA)	Espesor (m)	Formación	Columna estratigráfica
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	-	-	5 m. a 10 m.	Fluvio Aluvial	
		Plioceno	Tortoniano	15 m. a 2 m.	1150 m.	Fm. Ipururo	
	Neogeno	Mioceno					

Nota: Adaptado de cuadrángulo geológico de Quiriguetti (hoja 24-p)

3.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Dentro de la Geología Regional, tomamos como referencia el Boletín N° 125 serie A (Geología de los cuadrángulos de Sepahua 23-p, Miraría 23-q, Unión 23-r, Quiriguetti 24-p, Camisea 24-q y Río Cashpajali 24- r), publicado por INGEMMET en 1998. De acuerdo con este boletín en la zona se presenta la Formación Ipururo de edad Neógeno y depósitos fluvio aluviales y aluviales del Holoceno. En la figura 14 se muestra el mapa geológico regional de la zona de estudio.

Figura 14: Mapa Geológico Regional en el área de la estación compresora Mipaya.



Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.

3.2.1. Formación Yaguarango (Paleoceno inferior)

Reconocida por Kummel, B. en 1946, se encuentra en concordancia con el cretáceo terminal y se le considera del Paleoceno inferior. afloran en la parte central de los anticlinales del último segmento de la Faja Subandina. Sobre el río Urubamba se observan, en la base areniscas pardo rojizas de grano medio-fino en capas de 15-20 cm, alternadas con horizontes de lodolitas y limo arcillitas rojizas, Sobre estas areniscas descansa una secuencia pelítica rojiza, conformada por intercalación de limo arcillitas rojas y purpuras, con horizontes de arcillitas rojizas. Finalmente se presenta una secuencia abigarrada, grano decreciente. Se le reconoció también, en la comunidad Quirigueti, en la localidad de Malvinas, observándose sus afloramientos en los recorridos realizados en los ríos Mipaya, Alto Mayapo, Cashiriari, Alto Mipaya.



3.2.2. Formación Chambira (Eoceno – Oligoceno)

Esta formación data desde el Eoceno al Oligoceno ya que suprayace a la formación Yaguarango del Paleoceno, está en posición concordante sobre la Formación Yahuarango, hacia el tope el contacto con la unidad suprayacente no se observa claramente, sin embargo, en la hoja de Quirigueti (río Urubamba) se observa una leve discordancia angular.

Se presentan en intercalación de lodolitas rojas, alternadas con gruesas capas de areniscas pardas claras de grano medio a fino. La intercalación pelítica es principalmente de limo arcillitas abigarradas, con horizontes de niveles delgados de areniscas pardas, de grano fino, bien consistentes, los que terminan en algunos casos por acuñaientos. También es frecuente observar niveles o venillas de yeso asociados con las lodolitas rojas. El paquete pelítico se sobrepone de manera alternante con areniscas cuarzosas de color gris claro, de grano fino a medio, observándose pequeños lentes a manera de paleocanales en arenisca de grano más fino. Estas capas de areniscas se exponen hasta con un grosor de 2 m sobre todo en la parte superior de toda la secuencia antes de su contacto con la Formación Ipururo. Se ha podido observar algunas bioturbaciones y restos fósiles de vertebrados en el afloramiento dado en un flanco de anticlinal que es cortado por el río Mipaya. La presencia de lodolitas es dominante frente a las areniscas, observándoseles generalmente a bien inclinadas, como la exposición que existe en el río Mipaya.

3.2.3. Formación Ipururo (Mioceno – Plioceno)

Esta formación es la de más amplia distribución en el cuadrángulo de Quirigueti (hoja 24-p). Fue reconocida por primera vez por Kummel, B. en 1946 en la región alta del río Cushabatay como una secuencia de areniscas compactas de color gris oscuro a marrón claro, intercaladas con limo arcilloso rojo y horizontes de arcillitas rojizas. Las areniscas contienen numerosas concreciones lenticulares y, asimismo, presentan horizontes de conglomerados. En



la base de la Formación Ipururo se ha reconocido una alternancia de material pelítico y areniscas cuarzosas. Las lodolitas rojas se presentan con otras lodolitas friables de color gris, lodolitas de color beige y delgadas capas de limo areniscas amarillenta algo rojiza y niveles finos de areniscas cuarzosas no bien clasificadas.

Hacia el tope de la parte intermedia de la Formación Ipururo se presentan secuencias de areniscas cuarzosas de grano grueso con conglomerados a manera de paleocanales con una granularidad desordenada. En estas areniscas INGEMMET ha observado intercalaciones con capas delgadas de lodolitas de color beige a rojizas y limo areniscas de color beige.

En la parte superior de la Formación se presenta un decrecimiento de las areniscas y un engrosamiento de los estratos de lodolitas. Las areniscas son de color beige intenso a marrón claro, de grano medio a grueso, no muy bien clasificadas, se expone en capas gruesas, macizas de estratificación decreciente, intercalándose con delgados horizontes de limo areniscas amarillentas y limo arcillitas pardas. Sus relaciones estratigráficas en su base muestran una leve discordancia con la Formación Chambira, sin embargo, en el tope se observa discordancias angulares y erosionales con secuencias pleistocénicas como la Formación Picha y la Formación Ucayali.

3.2.4. Depósitos aluvio - fluvial y fluvial (Cuaternario)

Estos depósitos están relacionados a los procesos dinámicos de los ríos de la región. En el caso de ríos de poca pendiente (río Urubamba), dichos depósitos tienen un grosor más homogéneo y son extensos, de grano más fino que aquellos que se encuentran en la Faja Subandina y sus flancos, que por lo general corresponden a ríos que tienen pendientes mayores. En los valles del río Urubamba se encuentran gravas, arenas heterolíticas y algunos limos. Los depósitos aluviales, fluviales sobreyacen a las unidades más antiguas con un contacto ondulado e irregular.



La dinámica de los ríos y en este caso el río Urubamba, hace que los depósitos fluviales estén en constante movimiento. Temporalmente éstos se acumulan en forma de terrazas donde se intercalan arenas y niveles de limoarcilla, las gravas se incrementan aguas arriba. En los ríos emplazados en los estribos orientales de la faja subandina se observan pequeñas terrazas de material acarreado por los ríos, producto básicamente de procesos fluviales de la zona.

La predominancia de la formación Ipururo por los años de antigüedad entre 23 a 2.6 millones de años nos da una resistencia mayor al ser sometidos a cargas estáticas y dinámicas, estos suelos no se compactarían fácilmente y se fracturarían menos, dándonos una mayor estabilidad del terreno, Sin embargo, los depósitos cuaternarios mencionados al tener una sedimentación reciente no son muy compactos, por ello estos necesitaran hacerse procesos de mejoramiento de suelos para cimentar obras geotécnicas.

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

Localmente en el área de estudio no se observan afloramientos de roca sedimentaria, pero de acuerdo con INGEMMET en el Boletín N.º 125 serie A (Geología de los cuadrángulos de Quirigueta 24-p), la zona de estudio se encuentra sobre la Formación Ipururo que se caracteriza por ser una secuencia de areniscas compactas de color gris marrón oscuro a marrón claro, con intercalación de limo arcillitas rojas y horizontes de arcillitas rojizas. En la zona también se presentan secuencias sedimentarias Holocénicas caracterizadas por depósitos fluvio aluviales y aluviales caracterizados por una matriz arenosa y clastos polimicticos (distinto tipo de roca) con tamaños variables, de forma subredondeada, lo que indica su largo recorrido de transporte.

3.3.1 FORMACIÓN IPURURO

Localmente esta formación se aflora en los márgenes del río Urubamba y se estima que está bajo los depósitos fluviales y aluviales de la zona de estudio en un promedio de 6 metros del subsuelo. Se presentan como secuencias de areniscas compactas de color gris claro a beige de granos finos a medios, con intercalaciones de lodolitas, limos, arcillas y combinaciones de estas de color rojizas a rojizas claras, es común apreciar dentro de las areniscas capas finas en formas de lentes de lodolitas con una matriz arenosa fina, y lodolitas limpias de espesores de pocas metros a centímetros (de 5cm hasta 2 m), se aprecia areniscas cuarzosas en diferentes zonas también se evidencia lodolitas con alteraciones de color blanquecinas a rosáceas.

Figura 15: Afloramiento de secuencias de areniscas y lodolitas de la formación Ipururo.



Figura 16: Afloramiento de secuencias de lodolitas rojas de la Formación Ipururo.





3.3.2. DEPÓSITOS FLUVIO ALUVIALES

Estos depósitos están relacionados a los procesos dinámicos de los ríos de la región. En el caso del río Urubamba, que es un río de poca pendiente, estos depósitos tienen un grosor más homogéneo y son extensos, con arenas de grano fino. Los depósitos fluvio - aluviales formados a lo largo del valle del río Urubamba están conformados por gravas, arenas heterolíticas y algunos limos. Los depósitos aluviales generalmente se encuentran sobre yaciendo a Formaciones de rocas más antiguos con un contacto ondulado e irregular; que sería el caso de la zona de estudio, donde este tipo de depósitos se encuentran cubriendo en áreas extensas a las rocas de la Formación Ipururo.

3.3.2.1. ARENAS LIMOSAS

Este material está compuesto por arena de grano medio a fino, de color gris marrón a gris amarillento, en algunos casos marrón oscuro, los granos de cuarzo se observan redondeados, presenta plasticidad baja, poca compactación, son fácilmente penetrables con un lapicero, se encuentran con una humedad media a baja, posiblemente se saturen durante la época de lluvias intensas. Se observan algunos clastos polimicticos (de diferente composición), de diferentes diámetros de hasta 10 cm, subredondeados. De la figura 17 se presenta registro fotográfico donde se evidencia la presencia de los materiales en mención.

Figura 17: Vista panorámica de depósitos fluvio - aluviales, bajo cobertura vegetal.



Figura 18: Vista de la calicata C-24, secuencia de arenas limosas.



Nota: Se aprecia secuencias de arenas limosas con presencia de clastos polimicticos de diferente diámetro.

3.3.3. DEPÓSITOS ALUVIALES

Este tipo de depósito fue producido por inundaciones o antiguos cursos del río Urubamba que dejaron lagunas con una suave alimentación y desfogue, creando sobre ellos biosuelos recientes que estarían reposando sobre sedimentos de la Formación Ipururo. Este tipo de depósitos generalmente se encuentran en extensas áreas adyacentes a los ríos caudalosos como el Urubamba. Se identifico estos depósitos sobre la zona de estudio, se presentan como bolones, gravas y clastos polimicticos con angularidades subredondeada a redondeadas en una matriz arenosa y limo arenosas.

3.3.3.1. ARCILLAS ARENOSAS

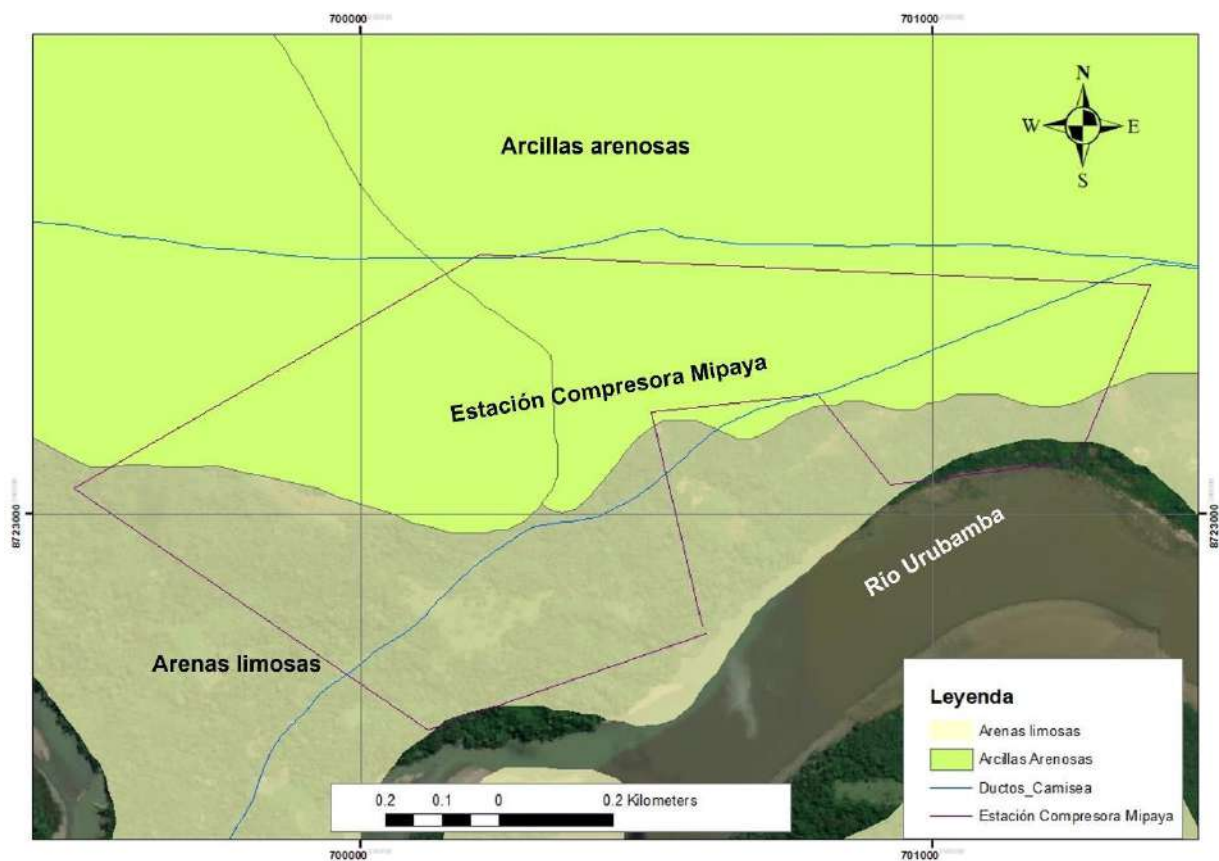
Este material está compuesto por una arcilla de color gris con tonalidades marrón rojizo a blanquecino, de plasticidad media, compacta, ligera dificultad para penetrar con un lapicero, se encuentran con una humedad media a baja, con presencia de arena de grano fino. Presenta algunos niveles de arenas de color gris marrón a marrón rojizo de forma intercalada. Se observa clastos polimicticos (diferente tipo de roca), de diverso diámetro, redondeados lo que indica

que han tenido un largo transporte. En la figura 19 se presenta registro fotográfico donde se evidencia la presencia de los materiales en mención.

Figura 19: Depósitos de material fluvio aluviales - Limos arcillosos.



Figura 20: Mapa de depósitos cuaternarios de la estación compresora Mipaya.



Nota: Adaptado de Google earth y generado en QGIS, depósitos cuaternarios predominantes según exploración geotécnica realizada.

Figura 21: Vista panorámica de zona de arcillas arenosas cubierta por vegetación.



Los depósitos fluvioaluviales y aluviales del Holoceno son más propensos a la compactación y asentamientos, esto afecta a la estabilidad de la estructura de la planta compresora. Estos suelos al presentar características no cohesivas son propensos a sufrir fenómenos de licuación por efecto de las precipitaciones fluviales y movimientos sísmico.

Por otro lado, estos suelos al ser menos compactos son más permeables y fáciles de realizar obras de mejoramiento, el buen análisis de estos suelos nos da los parámetros necesarios para su mejoramiento.



CAPITULO IV: HIDROLOGÍA

En el presente capítulo se tratará sobre el estudio de hidrología, hidráulica y socavación, factores que afectan de manera directa e indirecta al emplazamiento de los cimientos de la estructura de la planta compresora de gas. El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento del río Urubamba en el sector referente a la estación Compresora de Gas Mipaya proyectada.

Este estudio inicia con la visita de campo, y en conjunto con el mapeo geológico nos permite reconocer el sector. Realizar un diagnóstico visual del río Urubamba en el área objeto de estudio y definir las coordenadas del área donde se realizará un levantamiento topográfico, que incluye secciones batimétricas, esta información es uno de los insumos principales para realizar los estudios. De igual manera, el estudio comprende un análisis de la hidrología que permitirá realizar una descripción detallada de la cuenca del río Urubamba en el sector de la Estación Compresora Mipaya, recopilación y análisis de la información hidro climatológica de interés, y el desarrollo de una metodología que permita establecer los caudales máximos y medios en el Río Urubamba.

Para el estudio hidráulico se realizará un análisis que incluye la caracterización de los materiales de los cauces en estudio, descripción de flujo del cauce e infraestructura aguas arriba y en cercanías del proyecto que pueda generar alteraciones del mismo, Finalmente se realiza un estudio de socavación, que permitirá determinar la cota máxima a la que puede profundizarse el lecho del cauce en la zona aledaña a la estación compresora.

4.1. CLIMA

La ubicación donde se proyecta construir la planta compresora de gas está ubicada a una altitud de 350 msnm. Aproximadamente. La zona de estudio está determinada por un



patrón estacional monomodal en el transcurso del año, una estación seca entre los meses de abril a octubre y una estación lluviosa entre los meses de noviembre a marzo.

La zona de estudio específicamente presenta climas muy adversos por tratarse de una zona selva, a pesar de eso se puede estandarizar que la zona de presenta temperaturas promedio de 20 °C a 35 °C y cabe mencionar que en esta zona se presentan friajes donde las temperaturas pueden ser menores o días con temperaturas superiores donde la temperatura sube y produce golpes de calor. La humedad relativa media es variable según las condiciones del día, las mañanas son más humedad que las tarde, se estandariza humedades medias que van desde los 70% al 80%.

4.2. ESTUDIO HIDROLOGICO

El estudio hidrológico de la zona objeto de estudio, tiene por finalidad conocer las condiciones pluviométricas e hidrológicas del entorno de la zona estudiada del río Urubamba, así como las máximas avenidas y los caudales picos instantáneos con sus correspondientes niveles de agua.

4.2.1. FISIOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

El rio Urubamba presenta una fisiografía muy variable en todo su recorrido de 862 km, desde su nacimiento en el deshielo del nevado Cururana hasta su desembocadura en el rio Tambo. un tema muy amplio que abarcaría mucho recurso de tiempo, por tal motivo se hace el estudio y análisis del rio Urubamba en aguas debajo del Poblado de Quillabamba donde este varía entre 100 a 300m metros de ancho, tiene aproximadamente 1000 m en su desembocadura. Las crecientes de sus aguas se inician entre noviembre y las mínimas se producen de mayo a septiembre. El régimen de las aguas presenta crecientes relacionadas con fenómenos meteorológicos producidos en la alta montaña. Fuertes nevados que caen en la parte alta de la cuenca, originan crecientes cuando las nieves se deshielan.

4.2.2. DATOS HIDROCLIMATICOS

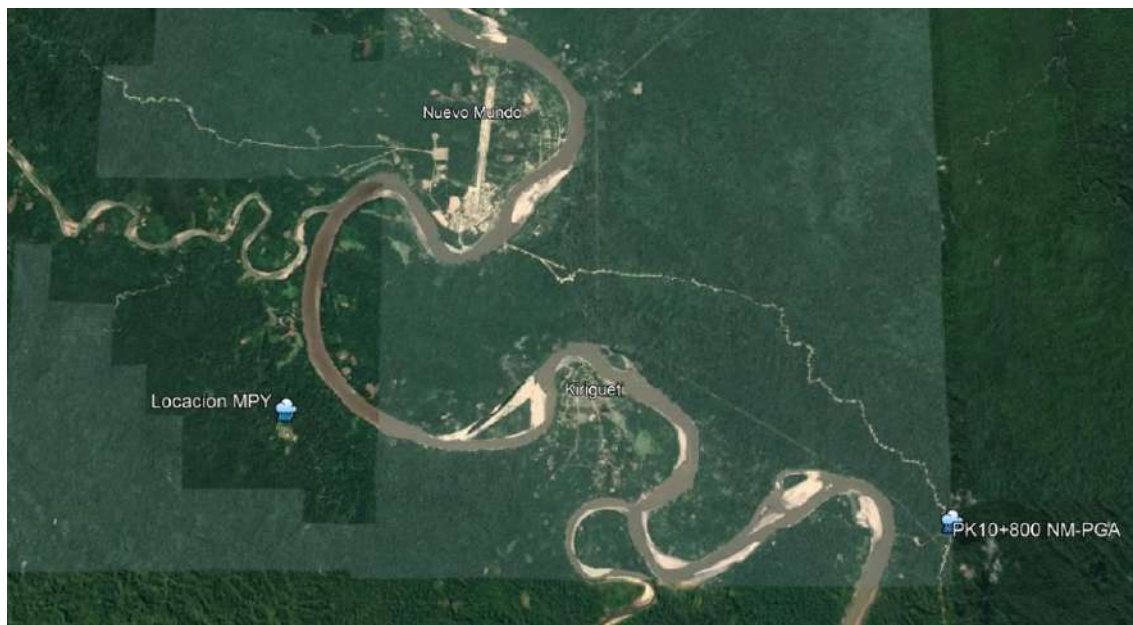
En la parte de investigación de datos hidro climáticos, pudimos obtener los datos de las dos estaciones pluviométricas más cercanas al proyecta, estas estaciones aportan información pluviométrica las cuales son operadas la empresa TECHINT dentro del gaseoducto Camisea:

Tabla 14: Estaciones pluviometricas mas cercanas a la zona de estudio.

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
Locación MPY	699840	8719507	360
PK10+800 NM-PGA	709112	8717918	417

Nota: Tomado de Google Earth Pro.

Figura 22: Ubicación General de Estaciones pluviométricas.



Nota: Adaptado de Google earth y generado en QGIS.

Para el análisis de caudales máximos y mínimos se usará información de la estación Cumba, ya que no se tiene el registro de aforos de años pasados del rio Urubamba en esta zona, es de importancia saber que se toma la información de esta estación ya que esta presenta fisiográficamente cuencas similares.

Tabla 15: Estaciones pluviométricas de Cumba y Balsas

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
Balsas	6°50'42.29"S	78°01'45.01"O	858
Cumba	5°56'06.98"S	78°39'51.97"O	457

Nota: Tomado de Google Earth.

Figura 23: Ubicación general de estaciones pluviométricas de Cumba.



Nota: Adaptado de Google earth.

Información hidroclimática de las estaciones de: Locación Mipaya y Estación PK10+800 NM-PGA, se presenta tablas resumen de precipitaciones totales durante el último año de las estaciones pluviométricas de mencionadas. En la estación de locación Mipaya la suma total anual de precipitaciones media es de 1723.95 mm, la precipitación mínima mensual registrado es de 1.8 mm y la máxima mensual es de 546.2 mm. En la estación PK10+800 NM – PGA la suma total anual de precipitaciones media es de 1735.08 ml, la precipitación mínima mensual registrado es de 12.00 ml y la máxima mensual es de 491.00 mm.



Tabla 16: Precipitaciones totales durante el año 2021

ESTACIÓN LOCACIÓN MIPAYA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
Media	311.90	215.80	164.70	67.60	63.60	111.30	70.10	18.45	142.15	109.35	143.70	305.30	1723.95
Mínimo	126.5	34.5	161	18.3	6.7	2.4	1.8	11.3	116.4	105.5	108.8	167.7	1.8
Máximo	457.9	345	168.4	116.9	120.5	220.2	138.4	25.6	167.9	113.2	172.4	546.2	546.2

Nota: Adaptado de base de datos – Ingeciencia.

Tabla 17: Precipitaciones totales durante el año 2020.

ESTACIÓN PK10+800 NM-PGA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
Media	200.07	265.10	163.50	126.20	61.07	107.50	76.43	35.93	50.63	91.23	272.83	284.60	1735.08
Mínimo	98.6	123.5	51	55.1	17	16.4	24.8	12	19.5	27	158.2	91	12
Máximo	369.2	414.6	244.8	205.7	136.1	178.1	127.9	79.6	74.2	174.7	491	405.3	491

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

Se muestra las máximas precipitaciones de los últimos 3 años en la estación pluviométrica PK10+800 NM-PGA y de los últimos 4 años de la estación Mipaya. En la estación PK10+800 NM-PGA la precipitación máxima en el año 2018 fue 77.10 mm, en 2019 fue 89.9 mm y en 2020 fue 67.5 mm, haciendo un promedio de 78.17 mm.

En la estación pluviométrica de Locación Mipaya la precipitación máxima en el año 2019 fue 54.90 mm, en 2020 fue 96 mm, en 2021 fue 149 mm y en 2022 fue 50.7 mm, haciendo un promedio de 50.70 mm. de los últimos 4 años.

Tabla 18: Máximo de precipitaciones en los tres últimos años de Estación PK10+800 NM-PGA

ESTACIÓN PK10+800 NM-PGA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX
2018	-	-	-	-	-	-	-	-	35.9	26.3	77.1	32.8	77.10
2019	48.7	46.5	89.9	48.6	5	81	69	24.1	22.9	71	64.1	83.1	89.9
2020	27.7	36.9	43.7	23	17.7	11	10.6	14.4	11.7	27.8	39.2	67.5	67.5
PROMEDIO													78.17

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia



Tabla 19:Máximo de precipitaciones en los 4 últimos años de Estación Locación Mipaya

ESTACIÓN LOCACIÓN MIPAYA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX
2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54.1	54.9	54.90
2020	24.5	67.9	68.3	34	40.8	59	38.8	12.4	84.5	45.2	45.1	96	96
2021	149	70.1	20.9	2.7	0.8	0.3	0.3	4.3	62.3	20.5	20.7	72	149
2022	50.7	20.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.7

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

Se analizan los días de precipitación por mes de las estaciones mencionadas anteriormente, En la estación PK10+800 NM-PGA en el año 2018 en total se tuvo 81 días de precipitación, en el año 2019 se tuvo 198 días, en el año 2020 se tuvo 141 días, y un promedio de 140 días de precipitación por año según los últimos 3 años. En la estación Locación Mipaya en el año 2019 se tuvo 42 días de precipitación fluvial, en el 2020 se tuvo 196 días, en 2021 se tuvo 269 días y en el 2022 se tuvo 26 días. Lo cual por año en promedio se tiene 133 días de precipitación en esta zona.

Tabla 20: Número de días de precipitación por mes en la estación PK10+800 NM – PGA.

ESTACIÓN PK10+800 NM-PGA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	7	22	24	28	81
2019	29	26	26	7	8	7	10	7	12	17	18	31	198
2020	17	20	10	14	7	7	9	3	6	11	12	25	141
Media	15	15	12	7	5	5	6	3	8	17	18	28	140

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia

Tabla 21: Número de días de precipitación por mes en la estación Locación Mipaya.

ESTACIÓN LOCACIÓN MIPAYA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	31	42
2020	22	26	14	14	11	22	19	7	11	10	14	26	196
2021	25	28	28	28	18	16	15	17	19	20	30	25	269
2022	22	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
Media	17	15	11	11	7	10	9	6	8	8	14	21	133

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

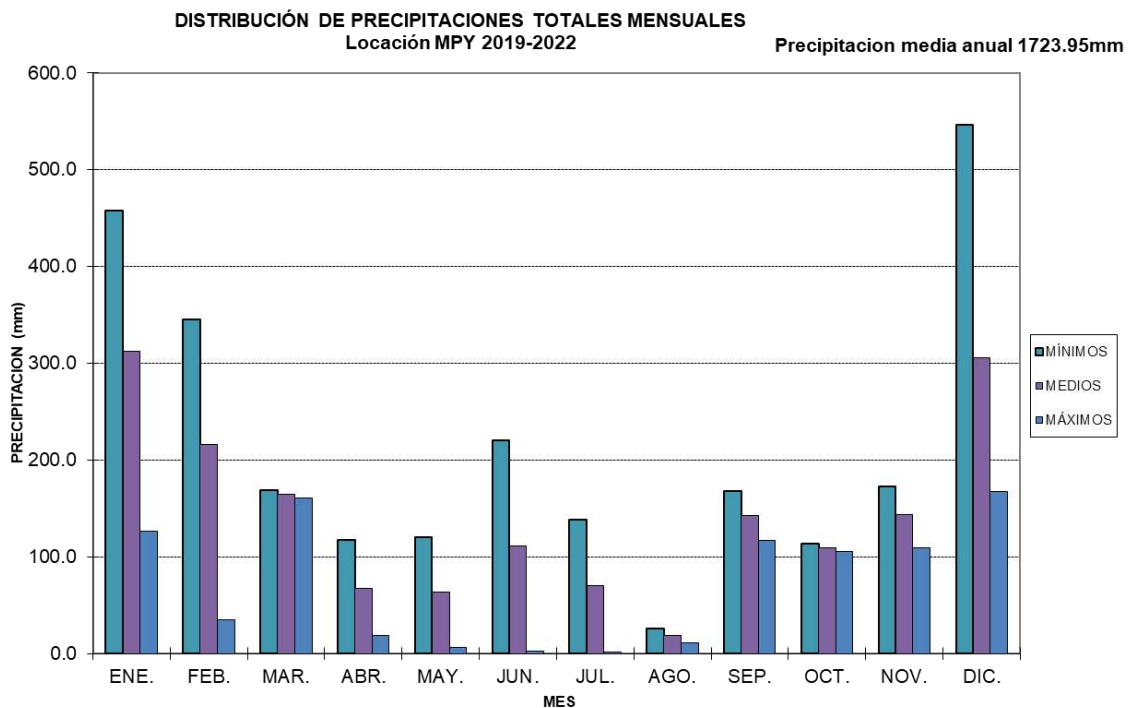
4.2.3. DESCRIPCION Y ANALISIS HIDROLÓGICOS

4.2.3.1. Análisis de precipitaciones Totales mensuales.

Para este análisis se seleccionaron las estaciones más cercanas al sector de la estación proyectada objeto de estudio que corresponden a Mipaya y Estación PK10+800 NM-PGA, ya que se consideran las más representativas del comportamiento de la precipitación en esta zona.

El ciclo anual de precipitaciones de la Estación Mipaya tiene un promedio Anual de 1723.95 mm, en un régimen monomodal, mayores precipitaciones en los meses de Setiembre – marzo y menores en Abril – Agosto. Siendo enero el mes más lluvioso.

Figura 24: Distribución Mensual de Precipitaciones Estación Mipaya – 2021.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica. (Ingeciencia, 2023).

Tabla 22: Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación MPY - 2021.

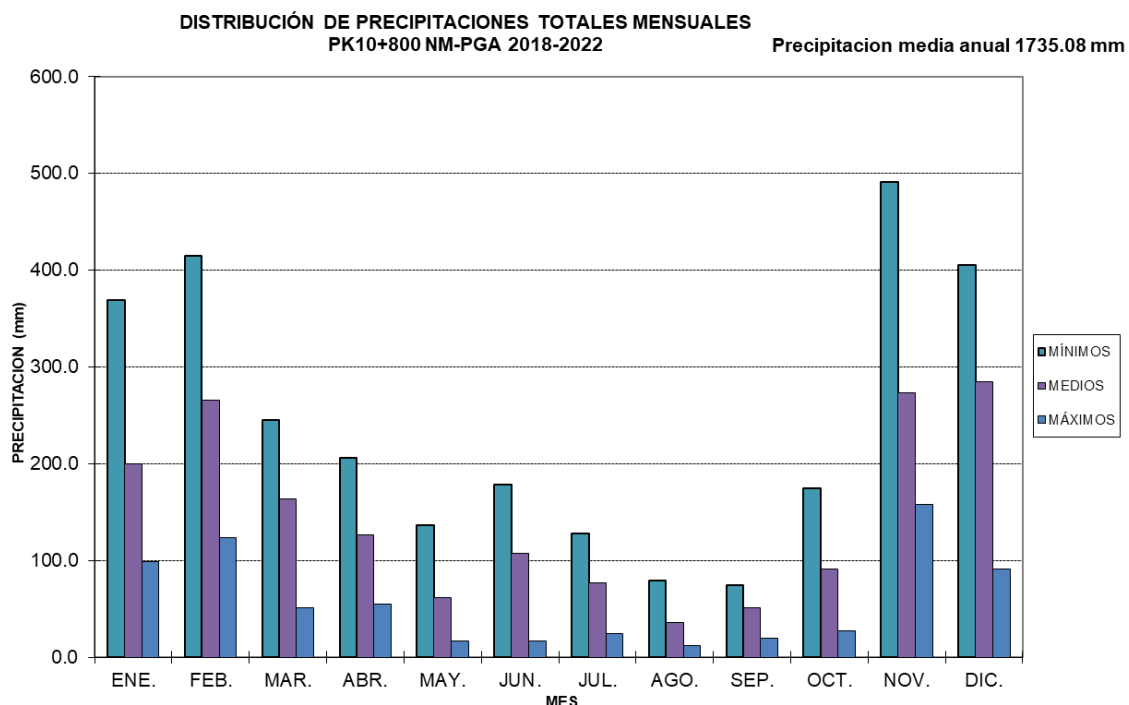
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	P media anual (mm)
P media (mm)	311.90	215.80	164.70	67.60	63.60	111.30	70.10	18.45	142.15	109.35	143.70	305.30	1723.95

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

El ciclo anual de precipitaciones de la Estación PK 10+800 NM-PGA, tiene un promedio Anual de 1735.08 mm, en un régimen monomodal, mayores precipitaciones en los meses de Setiembre – marzo y menores en Abril – Agosto. Siendo diciembre el mes más lluvioso.

La incidencia de la hidrología en la zona de estudio es mínima, según los resultados las precipitaciones en los meses más lluviosos (setiembre – marzo), el nivel freático no superar los niveles de cimentación planteados, donde se pudo observar que en promedio el N.F es inferior a 2 m (según la exploración geotécnica realiza). No obstante las precipitaciones podrían incrementando los riesgos de erosión, geodinámica externa y perdida de estabilidad de los suelos evaluados.

Figura 25: Distribución Mensual de Precipitación Estación PK10+800 NM-PGA - 2020.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica. (Ingeciencia, 2023).



Tabla 23: Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PK10+800 NM-PGA

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	P media anual (mm)
P media (mm)	200.07	265.10	163.50	126.20	61.07	107.50	76.43	35.93	50.63	91.23	272.83	284.60	1735.08

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

4.2.4. ANALIS Y OBTENCION DE CUADALES MAXIMOS

Teniendo en cuenta que sobre el río Urubamba en cercanías del Proyecto Estación Compresora Mipaya, no se dispone de ninguna estación que registre caudales, se tomarán como base los datos de caudales máximos de las estaciones Cumba y Balsas, ubicadas sobre el río Marañón para obtener los caudales de diseño del Río Urubamba. El río marañón presenta un ecosistema, régimen, climatología en general y precipitaciones presentan un comportamiento similar, lo cual hace que sus datos sean confiables y permitan obtener con mayor precisión los caudales del Río Urubamba, ya que se considera de mayor confiabilidad una estación de aforos con más 20 años de periodo de registro y en una cuenca de similar comportamiento, a obtener un caudal mediante un método lluvia-escorrentía.

Tabla 24: Área de drenaje de la Cuenca Urubamba y Cuenca Marañón.

Cauce	Área (km ²)
Cuenca Urubamba – Estación Mipaya	39,375.67
Cuenca Marañón - Estación Cumba	36,646.88
Cuenca Marañón - Estación Balsas	28,964.47

Nota: Adaptado de base de datos – Ingeciencia

Analizando el área de drenaje de las cuentas, la estación Cumba presenta una mayor similitud en área de la Cuenca Urubamba, la cual será la estación con mayor confiabilidad al usar los datos.



Tabla 25: Caudales Extremos estaciones Cumba – Rio marañón

Período de retorno (años)	Caudales extremos Estación Cumba (m ³ /s)
5	3527
10	4304
25	5286
50	6014
100	6737
200	7458
500	8408
1000	9126

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

Al ser la estación de tipo Limnómetro, se considera que los caudales anteriormente obtenidos corresponden al promedio de dos lecturas diarias, estos caudales deben ser amplificados ya que no corresponden a valores máximos instantáneos. Como factor de ampliación se emplea la expresión de Fuller que se presenta a continuación (Fuller, 1914).

$$\frac{Q_{\text{instantáneo}}}{Q_{\text{limnómetro}}} = 1 + 2.66A^{-0.3}$$

En la siguiente tabla se presentan los caudales amplificados aplicando la formulación de Fuller:

Donde: $Q_{\text{instantáneo}}$ = Caudal instantáneo

A: Área de la cuenca hidrográfica

$Q_{\text{Limnómetro}}$ = Caudal medio o base

Tabla 26: Caudales extremos amplificados según formula de Fuller.

periodo de retorno (años)	Caudales extremos Estación Cumba (m ³ /s)
5	3927.94
10	4793.26
25	5886.89
50	6697.65
100	7502.84
200	8305.80
500	9363.79
1000	10163.41

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.



Para obtener los caudales de diseño en el Río Urubamba se aplica una metodología para la transposición de cuencas, se empleará el Método de Myer quien considera que la relación de caudales máximos en dos cuencas hidrográficas hidrológicamente afines, son directamente proporcionales a la relación de sus áreas respectivas elevadas a un factor α , que normalmente oscila entre 0.40 y 0.70, tal como se expresa en la siguiente relación (Myer, 1998):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{A_1^\alpha}{A_2^\alpha}$$

Donde: Q_1 = Caudal de la primera cuenca. A_1 : Área de la primera cuenca.
 Q_2 = Caudal de la segunda cuenca. A_2 : Área de la segunda cuenca

Para la estación Cumba se aplicará el factor de $\alpha = 0.50$ ya que el área es mayor a la del sitio de la Estación Compresora Mipaya. Aplicando la ecuación mostrada anteriormente se obtienen los siguientes Caudales.

Tabla 27: Caudales Extremos amplificados estaciones Cumba – Río Marañón

Período de retorno (años)	Caudales extremos Estación Cumba (m ³ /s)
5	3927.94
10	4793.26
25	5886.89
50	6697.65
100	7502.84
200	8305.80
500	9363.79
1000	10163.41

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

Al analizar los resultados obtenidos los caudales de diseño del Río Urubamba, finalmente serán empleados los obtenidos en base a los registros de estación Cumba, ya que se obtuvieron caudales mayores, teniendo un factor de seguridad adicional y un criterio más conservador, estos caudales se resumen a continuación.



Tabla 28: Caudales de diseño estación Compresora Mipaya

Período de retorno (años)	Caudales extremos Estación Cumba (m ³ /s)
5	4071.55
10	4968.52
25	6102.13
50	6942.52
100	7777.16
200	8609.48
500	9706.15
1000	10535.01

Nota: Adaptado de base de datos - Ingeciencia.

Estos caudales extremos proyectados para la zona de Mipaya, nos ayudaran a determinar zonas de máximas crecidas, inundaciones e incidencias con fenómenos de socavación en la zona del proyecto.

4.3. ANÁLISIS DE HIDRÁULICA

El alcance para este subcapítulo se basa en los parámetros obtenidos anteriormente, el propósito del este es determinar los niveles de inundación generados por el paso de las crecientes del río Urubamba y también determinar los parámetros hidráulicos para estimar los fenómenos de socavación de la zona de interés.

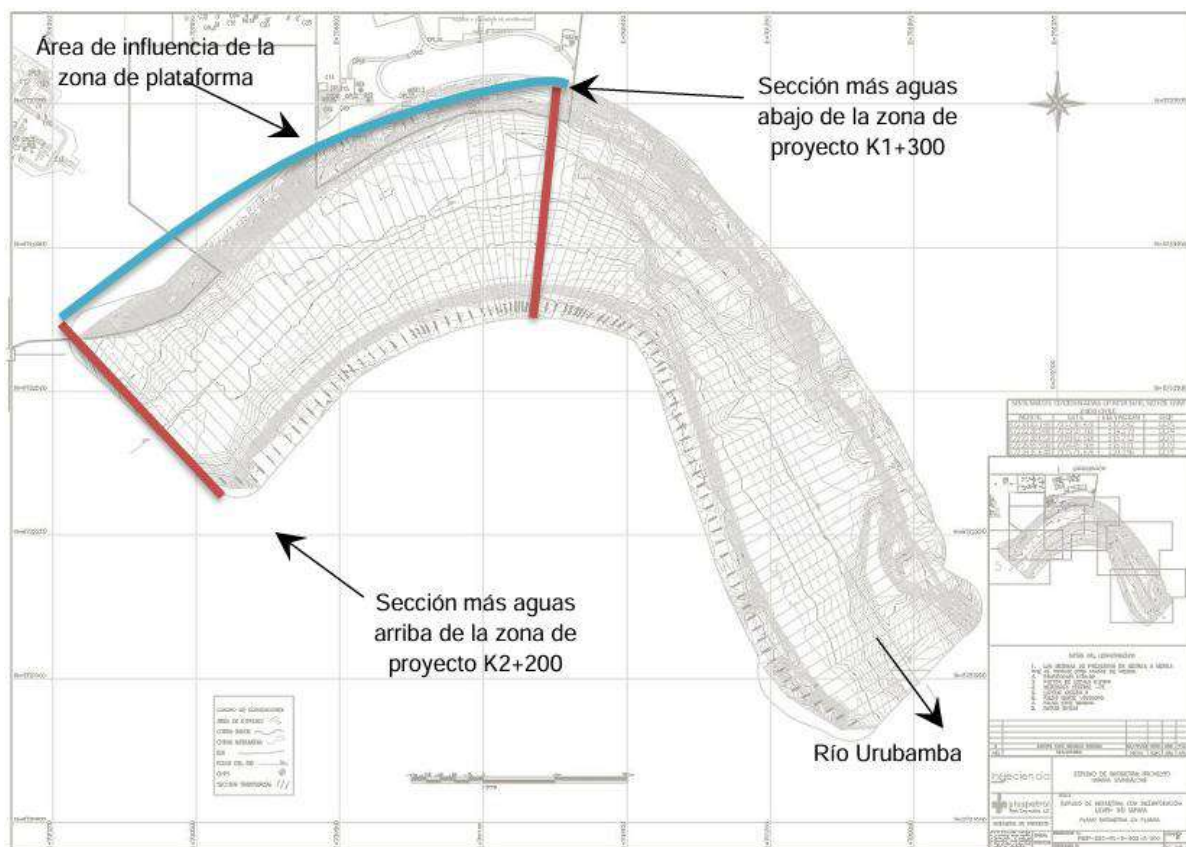
Los cálculos hidráulicos se enfocarán principalmente a determinar la cota correspondiente a la altura de lámina de agua y la velocidad de flujo, para el caudal de un Tr de 100 años en el sitio de proyecto. Se realiza una modelación para analizar la posible afectación que pueda llegar a tener el río Urubamba bajo las condiciones de creciente máxima del río; y dependiendo de los resultados, hacer las recomendaciones de protección para las nuevas obras proyectadas sobre la margen del río.

4.3.1. ÁREA DE ANÁLISIS HIDRÁULICO

Se genera la geometría del modelo hidráulico realizando trabajos de levantamiento topo-batimétrico. Se determinó que la topografía hacia las márgenes y llanuras de inundación

del río eran adecuadas para hacer un modelo hidráulico representativo de la zona. Así, se tomó una longitud de 2,200m de cauce, tomando como franja media la zona de acceso a las instalaciones del futuro proyecto. La topografía hizo un abscisado del río iniciando K2+200m aguas arriba del río, en el K1+425m zona media de estudio proyectado y terminando la plataforma en la sección K1+300 aguas abajo del río.

Figura 26: Mapa topo-batimétrico de la sección de interés del río Urubamba.



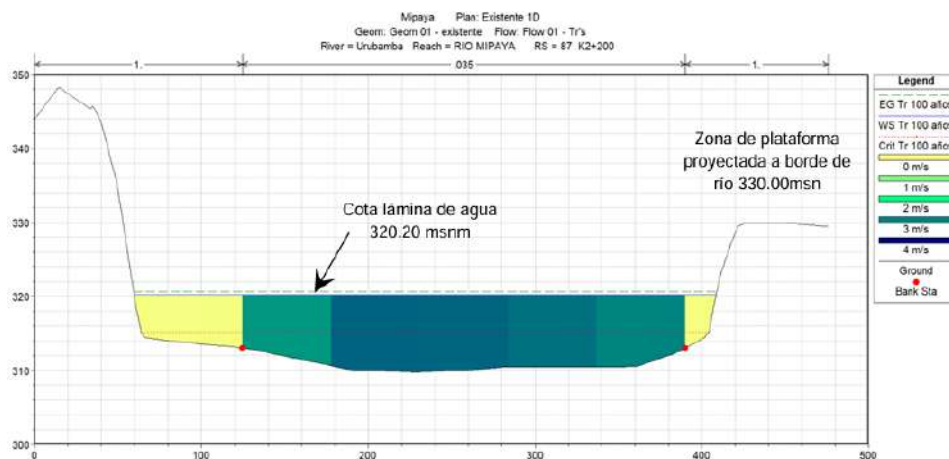
Nota: Adquirido de informe de hidráulica. (Ingeciencia, 2023).

4.3.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE VELOCIDAD MEDIA Y ESFUERZOS CORTANTES

A continuación, se presentan los cálculos y resultados obtenidos para el río Urubamba para el periodo de retorno de 100 años. Una vez obtenidos los resultados para las condiciones actuales, se hacen las recomendaciones hidráulicas necesarias. Se presentan los resultados para el evento máximo de modelación y un periodo de retorno de 100 años. Para el análisis

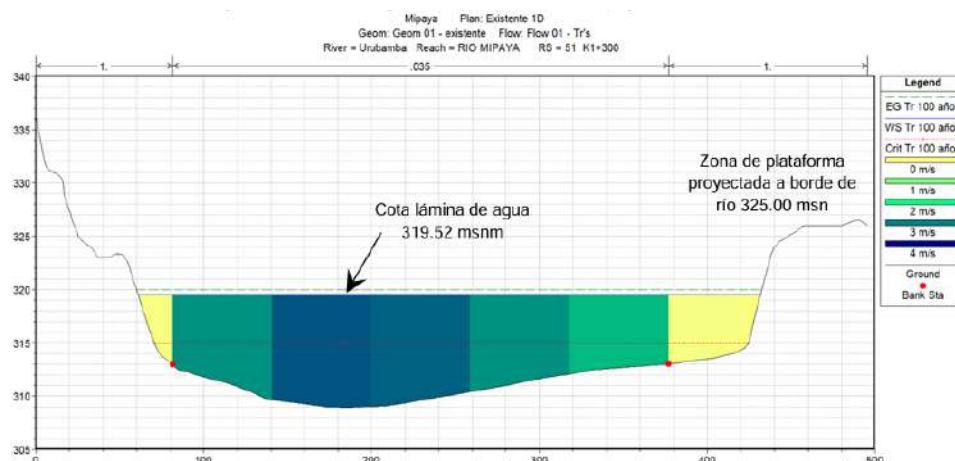
hidráulico se toman las secciones SEC-87 (K2+200) y SEC-51 (1+300) como secciones de control para determinar la altura de la lámina de agua, zonas de velocidad media y esfuerzos cortantes. La cota de lámina de agua en la sección más aguas arriba es la 320.20msnm en el K2+200. La lámina de agua más aguas abajo de la zona de plataforma en el K1+300, sección SEC-51 es la 319.52 mnsn. La velocidad media en la sección SEC-87 es de 3.07 m/s, y la velocidad máxima es de 3.21 m/s. Para la sección más aguas abajo de la zona de proyecto de la plataforma, K1+300, sección SEC-51, la velocidad medida es de 3.01 m/s y la velocidad máxima es de 3.33 m/s.

Figura 27: Sección aguas arriba de estación Mipaya K2+200 - SEC-87.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

Figura 28: Sección aguas abajo de Estación Mipaya K1+300 – SEC-51.

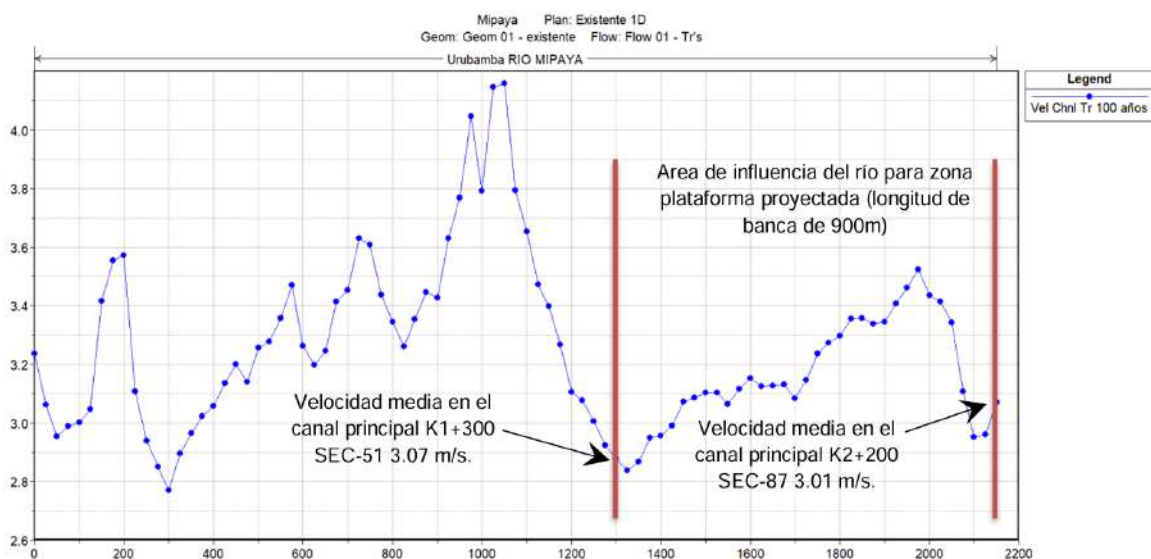


Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

La incidencia de las máximas crecidas del nivel de agua del río son mínimas, están no aumentan su cota liminar de agua más de 5 m, y según la topo-batimetría no llegarían a los alcances de la planta compresora. Sin embargo estas crecidas aumentarían los factores de socavación y la generación de geodinámica en los lechos de ríos.

En la siguiente figura se presenta el perfil longitudinal del tramo modelado, y con las secciones marcadas como zona de influencia del río en la zona de estudio

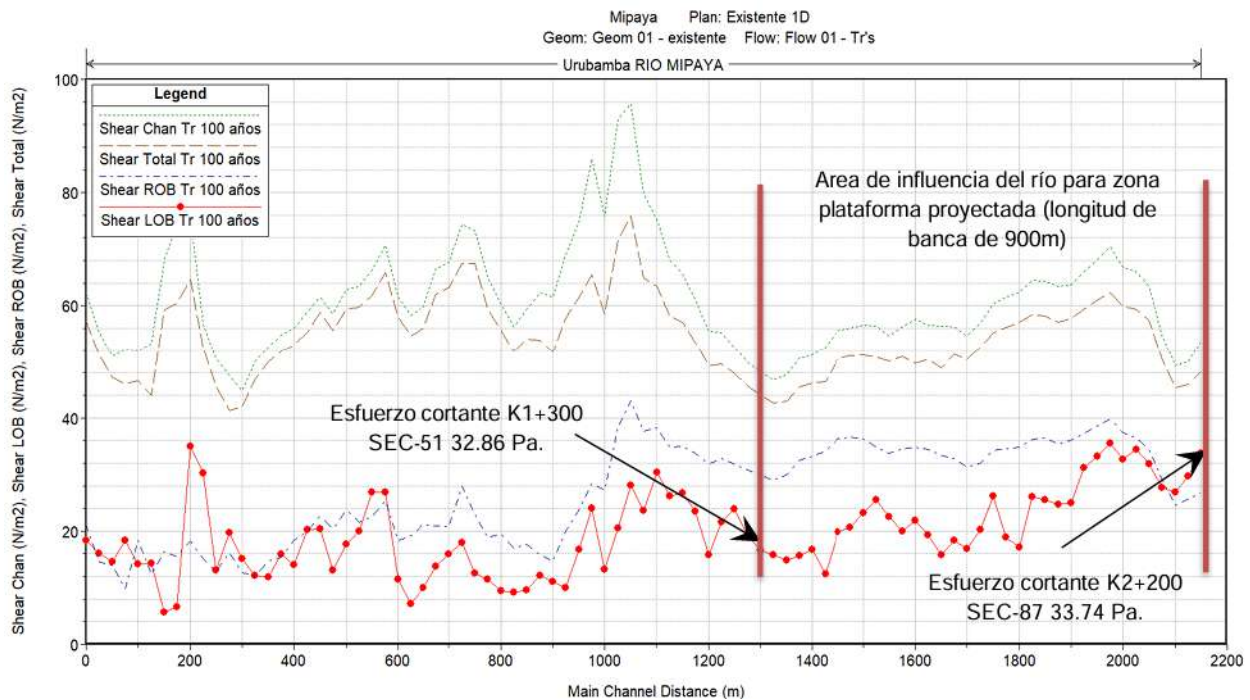
Figura 29: Perfil longitudinal de velocidad media en el canal principal.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

En la siguiente figura se presenta el esfuerzo cortante sobre la banca izquierda principalmente y el esfuerzo cortante total para toda la sección. Los valores se expresan en N/m^2 o Pa.

Figura 30: Perfil longitudinal, esfuerzos cortantes sobre la banca izquierda.

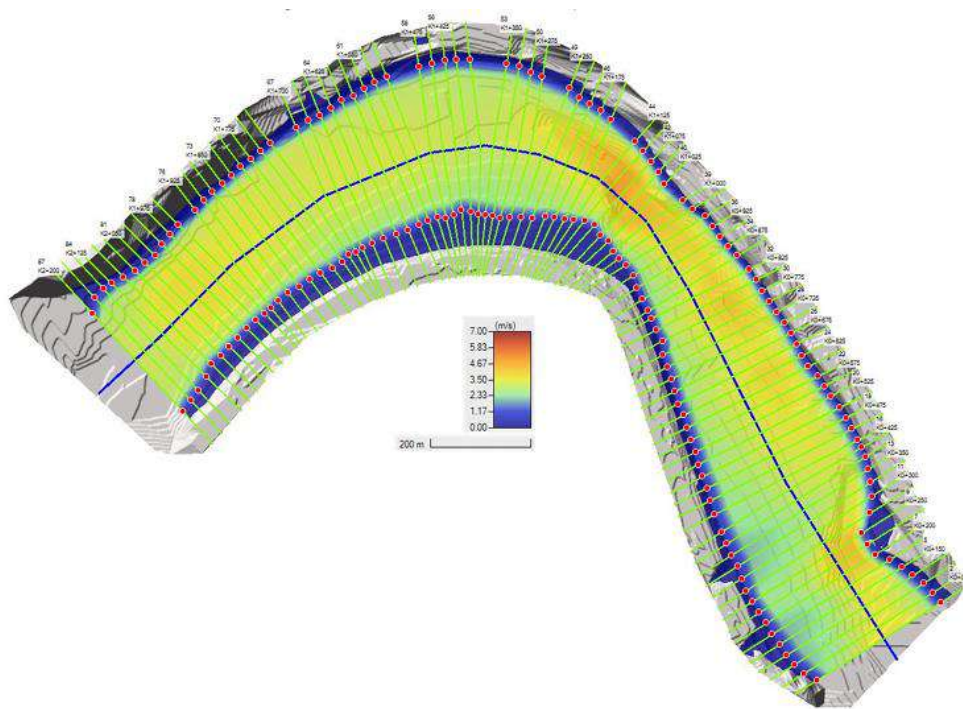


Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

La velocidad media del canal principal tiene un pico con una velocidad de 3.50 m/s.

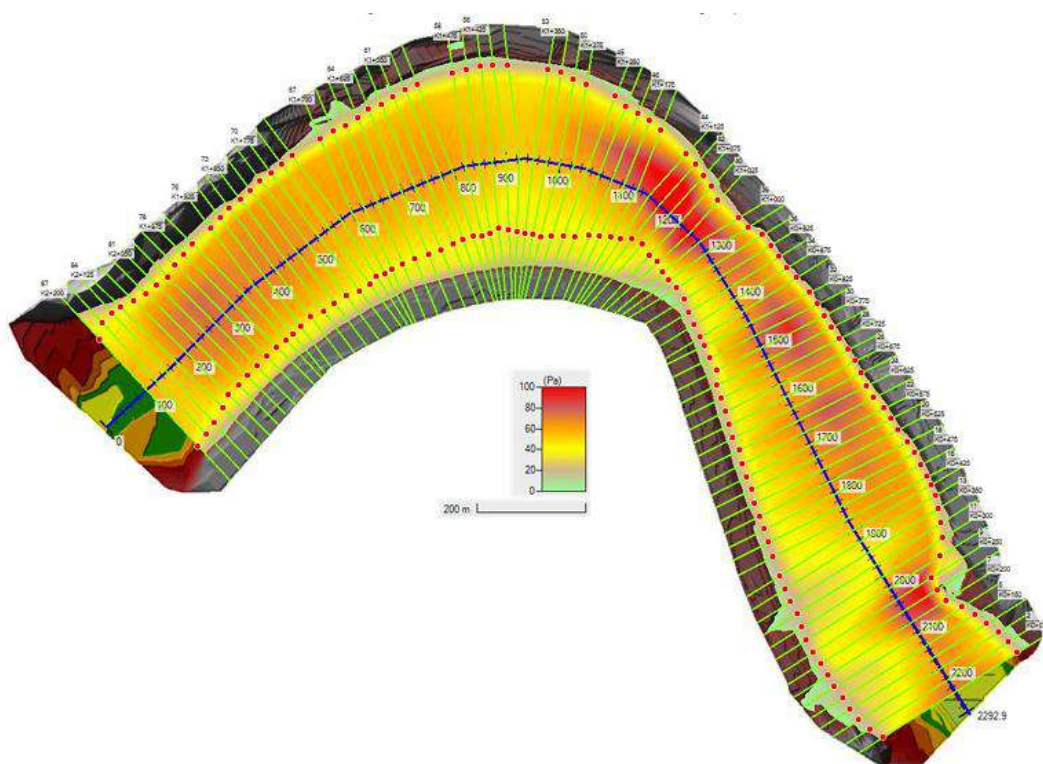
En la siguiente figura se presentan gráficamente los resultados de modelación para el modelo unidimensional del periodo de retorno de 100 años completo de los 2,200m de modelación con la vista en planta. Las velocidades varían entre los 7.00 m/s y 1.00m/s. Hacia las orillas del río se puede observar como la velocidad va disminuyendo y a medida que el agua fluye por el centro del cauce la velocidad aumenta. También se presenta una gráfica de resultados de profundidad de la lámina de agua en donde la variación va de los 0.0m a los 15.0m de profundidad de lámina de agua. Para la distribución del esfuerzo cortante, se tiene en la zona de proyecto un “shear” promedio de 25 N/m² y máximo de 30 N/m², parámetros bajos para socavación esperada por la margen izquierda del río.

Figura 31: Resultados de velocidad para Tr 100 años en todo el cauce de 2 200 m.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

Figura 32: Esfuerzos cortantes (N/m^2) de agua para Tr 100 años.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).



4.4. ESTUDIO DE SOCAVACION

Con el propósito de estimar el descenso del nivel que se puede producir en el lecho del Río Urubamba en el sector donde se proyecta la construcción de la Estación Compresora Mipaya, se realizara estimativos de socavación, en este proceso de degradación del lecho por el paso de una creciente asociada a un periodo de retorno, pueden quedar al descubierto capas del subsuelo. Para establecer la socavación general del cauce se emplearon dos metodologías, los criterios propuestos por Lischtván – Levediev y por Maza Álvarez, tomando en consideración los siguientes puntos:

- Diámetro medio: según lo observado en campo y confirmado en la exploración realizada y los resultados de los ensayos obtenidos, el material es granular. Lo anterior fue complementado con las fotografías del material granular tomadas durante la visita de campo.
- Caudal máximo para el cual se desea conocer las condiciones de socavación, se definió para un periodo de retorno de 100 años.
- Nivel de la lámina en inmediaciones de la sección de cruce, obtenida mediante la modelación.
- Geometría y sección transversal del cauce en inmediaciones del sitio de cruce.

Para el cálculo de la socavación en el sitio, se realizó en primer lugar una estimación del caudal de diseño, el cual corresponde a $7777 \text{ m}^3/\text{s}$ para un período de recurrencia de 100 años.

Para caracterizar el material del lecho, inicialmente se planteó tomar muestras para hacer análisis de granulometrías de la fracción de diámetro menor a 3” en el cauce del Río Urubamba en las secciones cercanas al sitio de la Estación Compresora Mipaya. Teniendo en cuenta que la fracción gruesa es ampliamente predominante en este lecho y analizando integralmente todo el material que se caracterizó en las fotografías tomadas para el lecho del Río Urubamba, se define el diámetro medio a emplear para el análisis de socavación. En la siguiente figura se muestra el análisis realizado:

Figura 33: Análisis Granulométrico lecho de río.



El diámetro medio considerado para los análisis corresponde a 9.8 mm, como se observa este valor es conservador y se considera que los resultados que se obtengan de socavación estarán dentro del lado de la seguridad, más aún cuando es evidente la existencia de materiales de diámetros bastante mayores en el lecho

4.4.1. METODOLOGÍA LISCHTVAN – LEBEDIEV

Es el método de mayor aplicación para determinar la socavación general en el lecho de una corriente, el criterio propuesto por los rusos **Lischtván - Lebediev** se basa en la obtención de la condición de equilibrio entre la velocidad media real del flujo y la velocidad media máxima necesaria para no erosionar el material del fondo; la profundidad de socavación en cualquier punto de la sección transversal se obtiene al igualar las ecuaciones de la velocidad real y la velocidad erosiva. Dependiendo del material que conforma el lecho del río, y que podría corresponder a suelos de tipo granular o cohesivos, para cada caso se propone de una ecuación que permite hallar la profundidad de socavación:

Suelos granulares:

$$H_s = \left[\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.68 d_m^{0.28} \beta} \right]^{\frac{1}{(1+X)}}$$

Suelos cohesivos:

$$H_s = \left[\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.60 \gamma_s^{1.18} \beta} \right]^{\frac{1}{(1+X)}}$$



Teniendo en cuenta que α corresponde a:

$$\alpha = \frac{Qd}{Hm^{5/3} Be\mu}$$

Dónde:

Hs: Altura entre la superficie del agua (al pasar la avenida) y el fondo erosivo (m).

Ho: Profundidad normal para el caudal de diseño.

Dm: Diámetro medio de las partículas de fondo (mm).

X: Variable que depende del diámetro de las partículas o del peso específico.

Qd: Caudal de diseño para el período de retorno considerado (m³/s).

Hm: Tirante hidráulico de la sección (m).

Be: Ancho efectivo de la sección para el nivel del caudal de diseño (m).

γ_s : Peso específico del suelo (t/m³) – usado en suelos cohesivos.

β : Coeficiente de distribución de gasto.

La profundidad de socavación estará dada por la expresión: $S = (Hs - Ho)$.

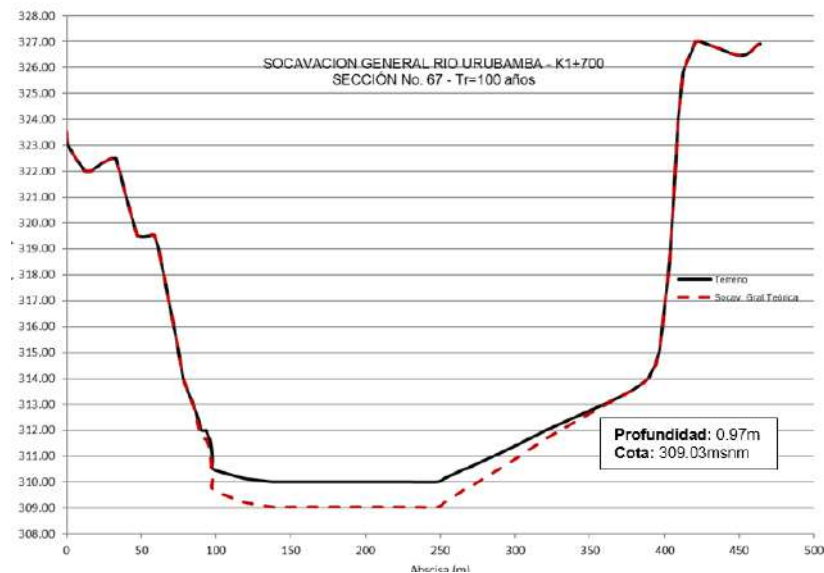
Aplicando la metodología, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 29: Resultados Socavación Método Lischtvan – Lebediev

Sección	Hs-Ho(m) máx	Cota Socavación (msnm)
70	0.96	309.04
69	0.74	309.26
68	0.79	309.21
67	0.97	309.03
6	0.84	309.16
65	0.86	309.14
64	0.77	309.23
63	0.7	309.3
62	0.77	309.23
61	0.78	309.21
60	0.74	309.25
59	0.72	309.26
58	0.71	309.25
57	0.46	309.32
56	0.33	309.17
55	0.15	309.35
54	0.11	309.39
53	0.38	308.62
52	0.42	309.02
51	0.81	308.12

Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023)

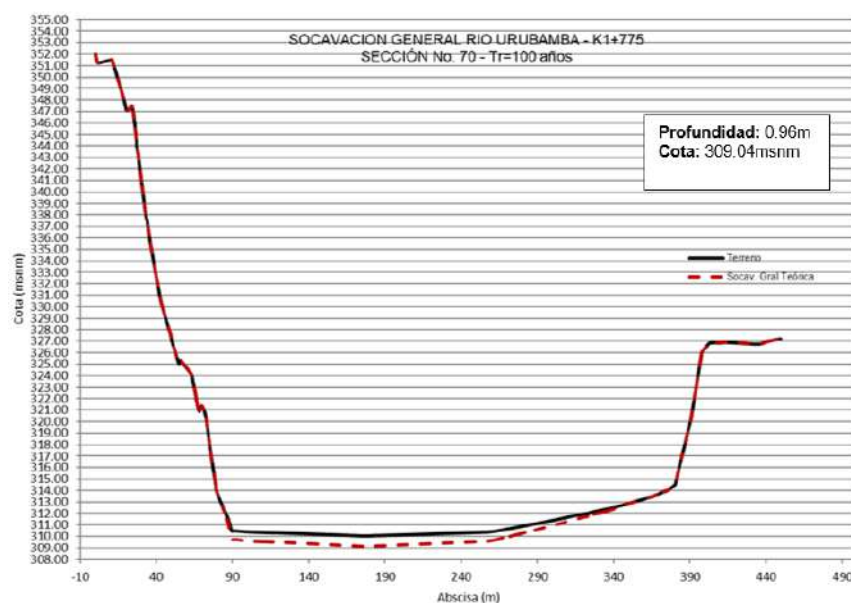
Figura 34: Socavación general – Río Urubamba – Sección 67.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

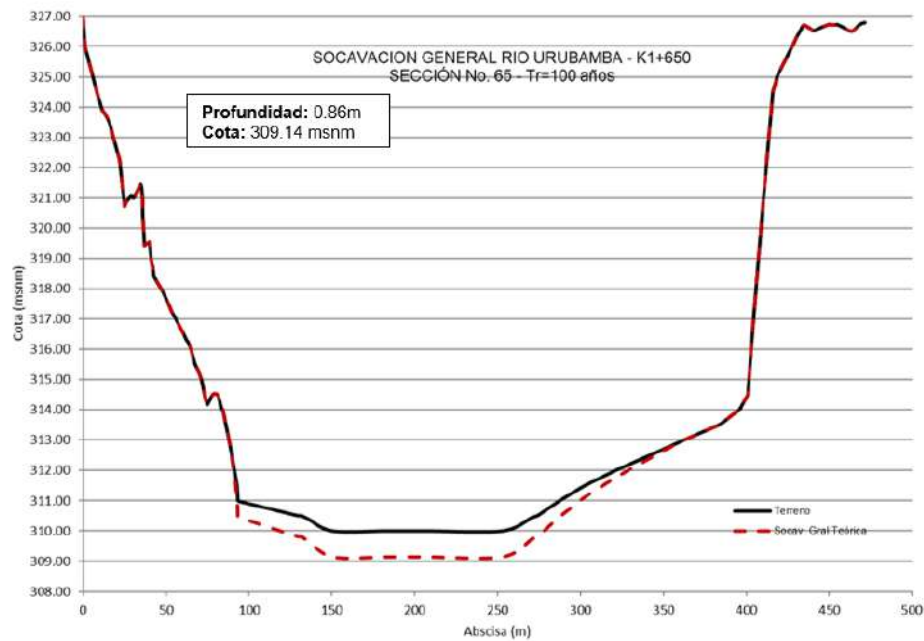
En general la socavación. A continuación, se presentan las secciones con mayor potencial de socavación, donde se presentaron mayores profundidades y los resultados de socavación general de manera gráfica.

Figura 35: Socavación general – Río Urubamba – Sección 70.



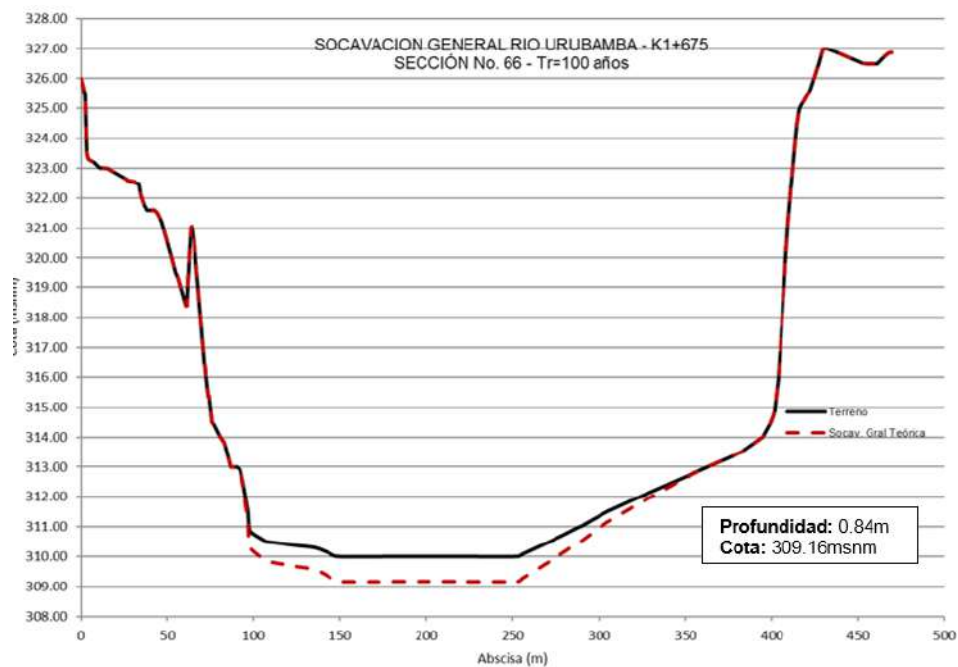
Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

Figura 36: Socavación general – Río Urubamba – Sección 65.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).

Figura 37: Socavación general – Río Urubamba – Sección 66.



Nota: Adquirido de informe de hidráulica, (Ingeciencia, 2023).



Al largo del tramo evaluado, teniendo en cuenta las condiciones del material del lecho, las velocidades de flujo y la altura de lámina de agua, no se esperan profundidades de socavación general mayores a 1 metro. La mayor socavación teórica total se presenta en la sección 67 y corresponde a una profundidad de 0.97 m y cota de 309.03 msnm. Con los datos obtenidos afirmamos que la **incidencia** de la socavación en los lechos del río es mínima.

4.4.2. OBRAS DE CONTENCIÓN

Defensas ribereñas: En caso de ser necesarias las obras de protección de orilla de río para la plataforma, los parámetros de diseño que se deben adoptar son una velocidad de diseño de 3.50 m/s y un esfuerzo cortante de 35.0 Pa, a borde de orilla izquierda del río. Se recalca que la configuración del terreno en alto talud a borde izquierdo de río son indicativos de afloramiento de roca, por lo cual se considera que este material es competente para no tener socavación lateral hacia la plataforma.

Drenaje de plataformas: Para el drenaje de las aguas lluvias de la plataforma, se recomienda adoptar como mínimo para los puntos de descarga que vayan al río, la cota máxima de lámina de agua para el Tr 100 de la sección SEC-87, de 320.20 msnm. Por la configuración del terreno, la orilla tiene cotas entre 325msnm y 330 msnm, por lo cual, se tiene un margen de seguridad adecuado para garantizar el drenaje de la plataforma hacia el río por escorrentía superficial y con una cota que permita proyectar pendientes de drenaje por gravedad. También, se recomienda que la plataforma tenga como mínimo cota de proyecto +0.00, la 320.20msnm + un F.S. (factor de seguridad), para las construcciones de obra civil dentro de la plataforma.



CAPITULO V: GEODINAMICA

5.1.GENERALIDADES

Tectónicamente el país es un de las zonas más activas del mundo por otro lado no todo el territorio peruano es caracterizado por ser una zona altamente tectónico o con geodinámica interna altamente activa. Según Sebrier (1982), menciona lo siguiente. “La deformación cortical que se presenta en el interior del territorio peruano inicio o se da su origen en los procesos de subducción de las placas tectónicas, especialmente de la placa Nazca que subduce baja la placa sudamericana este proceso tectónico da como resultado la cordillera de los andes y la presencia de numerosas fallas activas en los bordes de dicha cordillera”. Como es el caso de la zona de selva de la región de cusco, esta zona no está afectada por muchas fallas regionales considerables y se aprecia pocas fallas locales.

Caso contrario es la geodinámica externa, en la zona selva con presencia de depresiones o colinas es característico las laderas inestables, las zonas estables erosionadas, laderas moderadamente disertadas, planicies inestables y la deforestación por parte del humano que causa inestabilidad en los suelos.

5.2.GEODINAMICA INTERNA

5.2.1. SISMICIDAD DE LA ZONA.

La sismicidad en la zona de estudio es conocido por su baja incidencia de geodinámica interna y más por procesos geológicos que son fuentes generados de sismos locales, la parte oriental de la cordillera de los andes donde se encuentra nuestra zona de estudio es afectada por la interacción de las placas tectónicas y el movimientos de estas afectan de manera directa en algunos casos y de manera indirecta en la activación de fallas y estructuras en la corteza terrestre o fenómenos de dinámica externa. Se detalla sismos registrados en los últimos años de la zona:



Tabla 30: Sismo superficiales registrados según IGP.

Sismos superficiales registrados:

Sismo superficial 25/06/2012, profundidad de 17 km, magnitud de 4 MW.

Sismo superficial el 13/10/2022 profundidad 27 km, magnitud 4 MW.

Sismo superficial el 06/03/2018 profundidad 28 km, magnitud 4 MW.

Sismo superficial el 29/04/2012 profundidad 37.1 km, magnitud 4 MW.

Sismo superficial el 31/12/2013 profundidad 22.2 km, magnitud 4.3 MW.

Sismo superficial el 11/01/2016 profundidad 52.7 km, magnitud 4.1 MW.

Sismo superficial el 31/10/2018 profundidad 47 km, magnitud 4 MW.

Sismo superficial el 13/10/2022 profundidad 27 km, magnitud 4 MW.

Nota: Adquirido de IGP (Instituto geofísico del Perú)

Tabla 31: Sismo intermedio registrados según IGP.

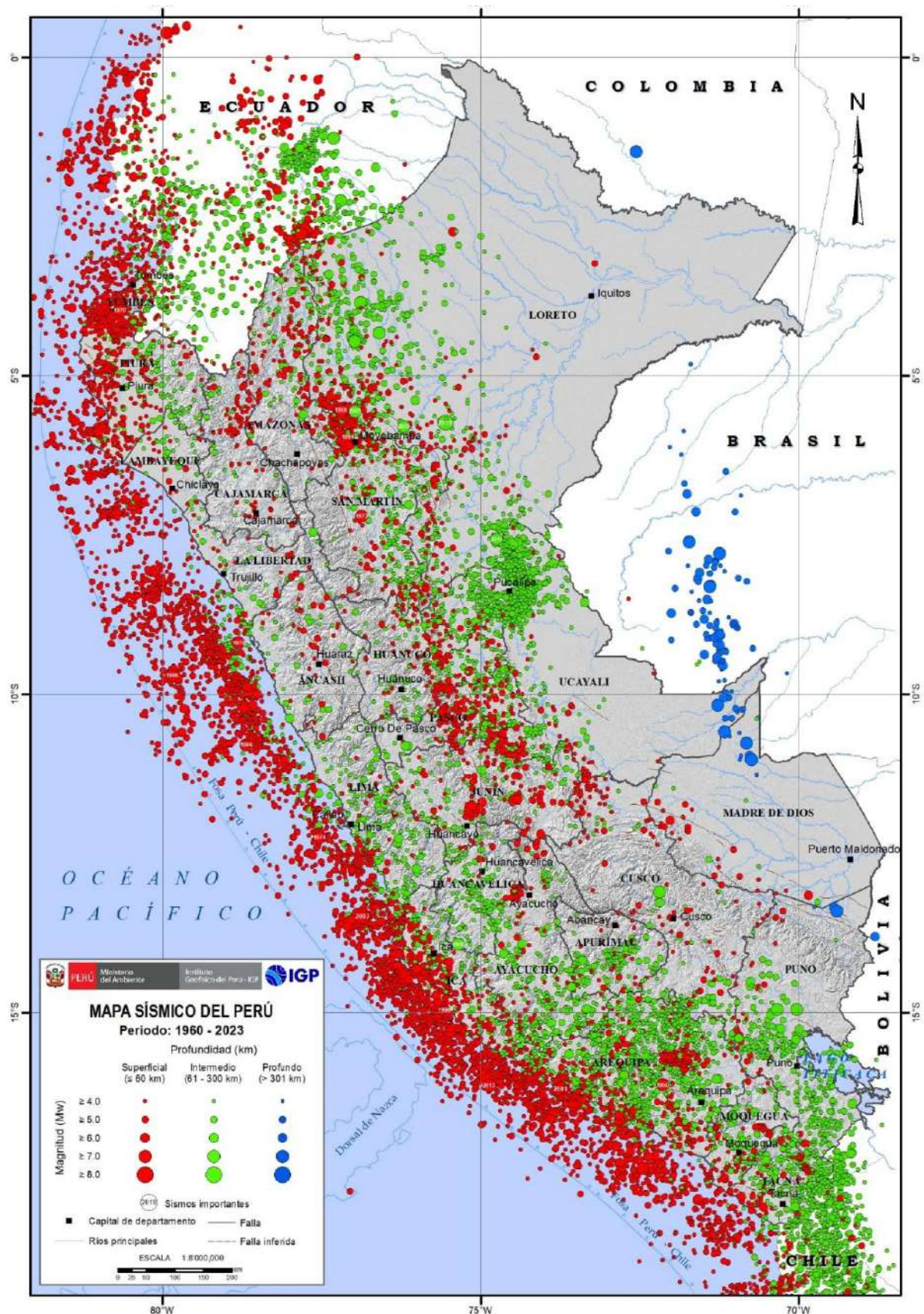
Sismos intermedios registrados:

Sismo intermedio el 05/09/2018 profundidad 110 km. Magnitud 4 MW, fuente IGP.

Sismo intermedio el 22/07/2018 profundidad 120 km. Magnitud 4.1 MW, fuente IGP.

Nota: Adquirido de IGP (Instituto geofísico del Perú)

Figura 38: Mapa sísmico del Perú, actualizado hasta 2023.



Nota: Adquirido de IGP (instituto geofísico del Perú)

Nota: Adaptado de Google earth pro y generado en QGIS.



5.8. SEGMENTOS ESTRUCTURALES

5.3.1. SEGMENTO ESTRUCTURAL MONTAÑAS PARIADO – COSHIRI – ALTA MIPAYA

Se observa una actividad tectónica que inicia de manera abrupta en la base de la Faja Subandina Oriental y se extiende de forma envolvente, conformando una amplia zona plana. En esta región predominan depósitos de capas rojas correspondientes al Cenozoico, representadas por las formaciones Yahuarango, Chambira e Ipururo. Desde el punto de vista estructural, la zona está caracterizada por la presencia de anticlinales, sinclinales y 1 falla regional.

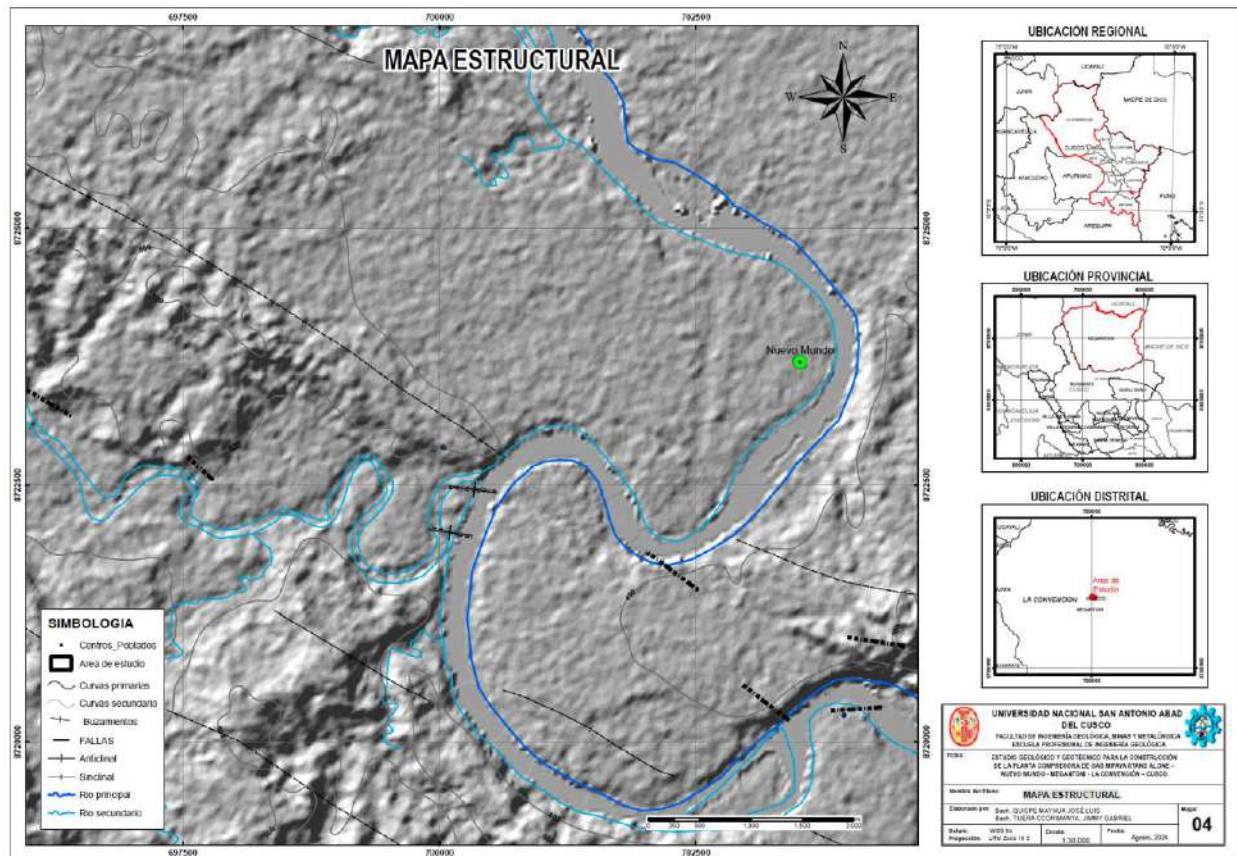
5.3.2. ALINEAMIENTO ESTRUCTURAL PICHA

Situado en las estribaciones más occidentales de la Faja Subandina, esta estructura geológica abarca una extensión total de 180 kilómetros. Se inicia en las nacientes del río Camisea y se prolonga hasta su confluencia con el río Urubamba, continuando luego en dirección noroeste hasta el punto de encuentro entre el río Poyeni y el río Tambo. Su composición está definida por una sucesión de anticlinales y sinclinales dispuestos en paralelo, con una separación moderada entre ellos.

Estos pliegues están marcados en su flanco norte por fallas inversas inclinadas hacia el sur, cuyos planos parecen confluir en profundidad en una misma zona de despegue. Adicionalmente, en el flanco opuesto de los anticlinales suelen presentarse fallas inversas antitéticas a las anteriores.

En esta área se encuentran los importantes yacimientos de gas y condensados asociados a los pozos San Martín, Cashiriari, Armihuari y Mipaya, pertenecientes al sector de Camisea

Figura 39: Mapa estructural de la zona de estudio.



5.9. FUENTES SISMOGENICAS DE LA ZONA

En el continente, y especialmente en Perú los eventos sísmicos son tipificados por su profundidad, independientemente de su magnitud, como superficiales (de 0 a 60 Kms), intermedios (de 61 a 300 Kms.) y profundos (mayores de 301 Kms.). Los sismos de la región sur del Perú se enmarcan dentro de la sismicidad ocasionados por un sistema de fallas locales. Los epicentros en la zona sur son mayormente continentales.

5.4.1. PELIGROSIDAD SÍSMICA

De acuerdo con la zonificación sísmica del territorio Peruano (Instituto Geofísico del Perú-IGP) expresada en el capítulo E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-2019) modificado mediante Resolución Ministerial N° 043-2019-VIVIENDA, basada en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características

generales de los movimiento sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica, el país se considera dividido en cuatro zonas como se muestra en la Figura 13. A cada una de estas zonas se le asigna un factor Z que representa la aceleración horizontal máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, de acuerdo con la Tabla 13.

Tabla 32: Factores de aceleración horizontal máxima del terreno

factores de zona "Z"	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota: Adaptado de IGP (instituto geofísico del Perú)

Figura 40: Información sismológica del Perú.





Nota: Adquirido de IGP (instituto geofísico del Perú)

En el sector donde se desarrolla el presente estudio se encuentra localizado dentro de la Zona 2, que se caracteriza por contar con una aceleración máxima del terreno (PGA) de 0.25 g, para una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

5.4.2. EFECTOS LOCALES

De acuerdo con lo dispuesto en el Capítulo 2 de la norma técnica E.030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE” del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-2019) modificado mediante Resolución Ministerial N° 043-2019-VIVIENDA y siguiendo el procedimiento sugerido en su Anexo N°2, se tienen las siguientes consideraciones para el cálculo del peligro sísmico en la zona del proyecto. Se determinó la zona sísmica y su correspondiente Factor de zona “Z” para el proyecto (Ver Tabla 33).

Tabla 33: Factor de zona "Z" de zona de estudio.

Factor de zona "Z"	
Zona	2
Z	0.25

Nota: Adaptado de norma: E-030, RM 043-2019

Con base al artículo 12.3. RM 043-2019_E.030, al no disponer de propiedades del subsuelo hasta la profundidad de 30m y con base a los datos de la exploración del subsuelo ejecutada, donde se obtuvo en su mayoría un número SPT entre 15 a 50 golpes, los parámetros de sitio para la realización del espectro elástico de amplificación deben corresponder al perfil de suelo tipo S2. Se calculan los parámetros de sitio S, Tp y TL

Tabla 34: Parámetros de sitio para la zona de proyecto. (Fuente Ingeciencia)

Parámetros de sitio		
Factor de suelo "S"	1.2	
Periodos	Tp (s)	0.6

Tl (s)

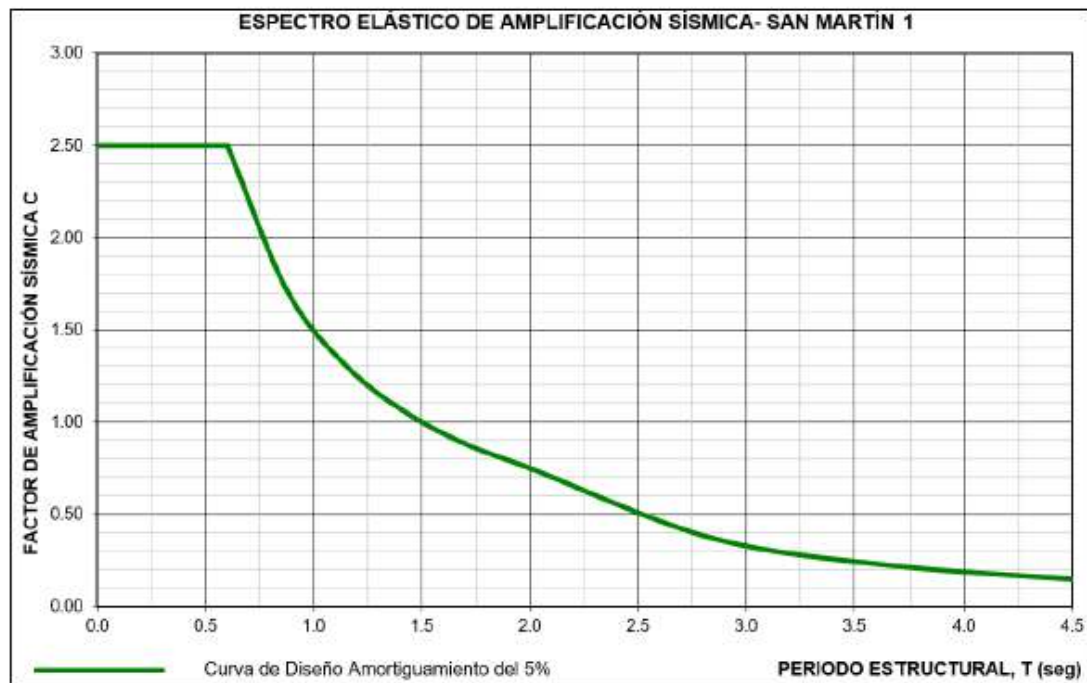
2

Nota: Adaptado de norma: E-030, RM 043-2019, artículo 13.

Se calcula el espectro elástico de amplificación sísmica.

Se sugiere el uso de un coeficiente sísmico entre $1/2$ a $2/3$ de la aceleración pico de diseño (PGA), en base a la recomendación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984). Se presenta un gráfico con el Espectro elástico de amplificación sísmica de la zona de estudio.

Figura 41: Espectro elástico de amplificación sísmica para la zona-Perfil tipo S2.



Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023).

De acuerdo con lo manifestado se recomienda un único valor de coeficiente sísmico en la componente horizontal de $A_a=0.16g$ y un único valor de coeficiente sísmico en la componente vertical de $A_a=0.00g$. Estos valores corresponden al $2/3$ de las aceleraciones del PGA para un periodo de retorno de 475 años según la Norma IBC, 2009.



5.4.3. RIESGO SISMICO

Existe información referida a riesgo sísmico en la región, en el documento “riesgo sísmico en la zona del altiplano” (Vargas/Casaverde). Esta información está basada en datos sísmicos instrumentales, datos sísmicos históricos, registros de movimientos fuertes, datos geotécnicos y geofísicos, los que, usando el modelo probabilístico de Poisson, han sido procesados para obtener la aceleración, velocidad y desplazamientos máximos esperados para periodos de retorno de 30, 50 y 100 años. Esta información se encuentra en mapas con curvas que abarcan los departamentos de Cusco y Puno.

Tabla 35: Valores de aceleración, velocidad y desplazamiento máximo en periodos de retorno de 30,50 y 100 años.

	Aceleración			Velocidad			Desplazamiento		
Periodo de retorno (años)	30	50	100	30	50	100	30	50	100
Parámetros	0.137	0.165	0.210	5.80	7.00	9.50	2.05	2.40	3.30

Nota: Adaptado de. Riesgo sísmico en la zona del altiplano - Vargas/Casaverde.

5.4.4. TECTONICA Y SISMICIDAD

El estudio de la tectónica presenta las dificultades propias de toda cuenca terciaria continental, entre ellas que, en las zonas cubiertas por los materiales sedimentarios, las fracturas han de deducirse a partir de consecuencias secundarias. En las rocas sedimentarias, además los plegamientos son tan pequeños que resultan prácticamente inapreciables.

En el distrito de la convención por su ubicación geográfica es una zona de sismicidad media (Zona 2) donde no se generan muchos sismos y según el Reglamento Nacional de Construcciones, con fines de diseño estructura se toma los siguientes datos.



Tabla 36: Parámetros tectónicos y de sismicidad para la zona de estudio.

Parámetro	Magnitud	Descripción
Zona	2	Mapa de zonificación sísmica
Factor de Zona	0.3 g.	
Perfil de Suelo	Tipo S2	Suelos finos. Espesor menor a 20m.
Parámetro del suelo	Tp = 0.6 seg S = 1.2	Periodo predominante factor de ampliación del suelo

Nota: Resumen de parámetros sísmicos usados, magnitud y descripción.

5.5.GEODINAMICA EXTERNA

La zona estudiada por su baja compresibilidad de sus materiales sedimentarias es muy común los movimientos de masa como (Remoción de masa, flujo de detritos, erosión de ribera o socavación). Estos eventos geológicos determinan la geodinámica externa de la zona y afectan directamente a las obras de ingeniería como (líneas de conducción y accesos).

5.5.1. ANÁLISIS DE PENDIENTES

Según la metodología de análisis de pendientes, la zona de estudio al presentar bajas pendientes se clasificar como con un tipo de relieve Suave a mediano según la clasificación de Ortiz Vera.

Tabla 37: Clasificación de pendientes medias.

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 35	Accidentado
35 - 50	Fuerte
50 - 75	Muy Fuerte
> 75	Escarpado

Nota: Adaptado de clasificación de pendiente (Ortiz Vera, 2004).

5.5.2. FLUJO DE DETRITOS

La presencia de suelos no consolidados en zonas de relieve suave a mediano es una condición favorable para un flujo de detritos, específicamente en zona de selva donde la actividad fluvial es muy concurrente, siendo este un factor desencadenante principal en la zona de estudio.

Se presentan pequeños flujos de detritos en las zonas cercanas al río Urubamba y dentro del derecho de vía de la línea de conducción de gas. Estos generados por la erosión fluvial o socavamiento del río y los deslizamientos de menor escala dentro del derecho de vía de la línea de gas son producidos mayormente por la baja cobertura vegetal.

Figura 42: Flujo de detritos en ladera de colina.



5.5.3. EROSION DE RIBERA.

Producidos por la erosión del río Urubamba, en épocas de máximas crecidas donde el efecto erosivo es más considerable. La presencia de suelos o rocas sedimentarias (Areniscas, Lutitas y Lodolitas duras) son más propensas a este efecto erosivo, ya que este tipo de material no se encuentran bien consolidados propiciando así la erosión de las riberas, afectando de manera directa la plataforma donde se pretende la construcción de la planta compresora de Gas Mipaya.



Figura 43: Erosión de ribera en margen izquierdo de rio Urubamba.





CAPITULO VI: GEOSIFICA

6.1. GENERALIDADES

El objetivo de este estudio es obtener la información esencial para implementar mejoras en la locación para la cimentación de la Planta Compresora Mipaya. El estudio de resistividad eléctrica y sísmicas de Masw de terreno evalúa los valores de resistividad eléctrica, velocidad de onda superficiales medidos, con los cuales se establecen parámetros para realizar un modelo de capas del terreno. Estos parámetros identifican de forma real valores y profundidades de las resistividades y velocidades de ondas encontradas en cada estratificación del terreno. Este estudio es una base fundamental para realizar el diseño dinámico de cimentaciones de la Planta Mipaya.

Este el presente capitulo se detalla la ubicación y generalidades de los métodos físicos utilizados para la determinación de la caracterización geo eléctrica y sísmicas, como también la refracción sísmica de los estratos superficiales del sitio basada en los datos recolectados durante las actividades de reconocimiento y exploración de campo.

6.2. PLAN DE EXPLORACION GEOFISICA

Para el presente proyecto se planteó una exploración indirecta por métodos no destructivos, con el fin de recolectar datos de los parámetros dinámicos y eléctricos de las diferentes estratigrafías superficiales, para obtener de estos datos nos ayudan a la elaboración del diseño dinámico de cimentación más precisa y confiable para la Planta Compresora Mipaya.

6.2.1 RESISTIVIDAD ELECTRICA

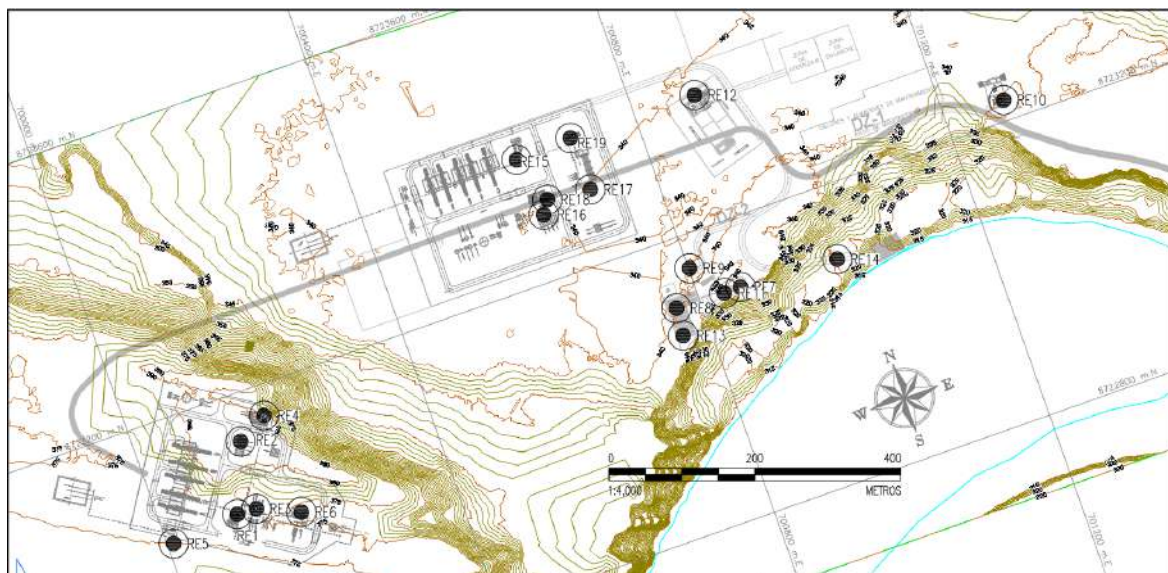
Se presenta un plan de exploración geotécnica indirecta, la ubicación de las pruebas de resistividad eléctricas son las siguientes. Las se presentan en la Tabla

Tabla 38: Coordenadas de localización los ensayos de resistividad eléctrica a realizar.

RESISTIVIDAD			
ID	NORTE	ESTE	Ubicación
RE 1	8723049	700105	Estación compresora Mipaya
RE 2	8723132	700142	
RE 3	8723038	700123	
RE 4	8723163	700171	
RE 5	8723030	700005	
RE 6	8723012	700199	
RE 15	8723383	700633	Estación compresora Mipaya (adicional)
RE 16	8723291	700640	
RE 17	8723301	700708	
RE 18	8723312	700651	
RE 19	8723377	700710	
RE 20	8723344	700722	

Nota: Adquirido de plan de exploración geotécnica – Ingeciencia.

Figura 44: Localización en planta de los ensayos resistividad eléctrica.



Nota: Adquirido de plan de exploración geotécnica – Ingeciencia.

6.1.2. LINEAS MASW

Para la evaluación de estructuras y parámetros de velocidad de onda se realizó pruebas de sismicidad, se presenta las líneas de MAS W evaluadas.



Tabla 39: Coordenadas de inicio y fin de las líneas de MAS W.

LINEA MAS W L = 100 m.						
INICIO				FIN		Ubicación
	NORTE	ESTE	ID	NORTE	ESTE	
A	8723171.07	700086.15	A'	8723087.22	700031.66	Estación compresora Mipaya
B	8723116.75	700048.62	B'	8723033.07	699994.12	
C	8723131.3	700143.7	C'	8723042.56	700094.5	
D	8723057.07	700196.51	D'	8722973.2	700142.01	
E	8723047.41	700089.23	E'	8722988.08	700178.34	Estación compresora Mipaya
F	8723383.25	700540.41	I'	8723383.25	700640.41	
G	8723411.99	700603.07	J'	8723311.99	700703.07	
H	8723388.21	700716.93	K'	8723288.21	700716.93	

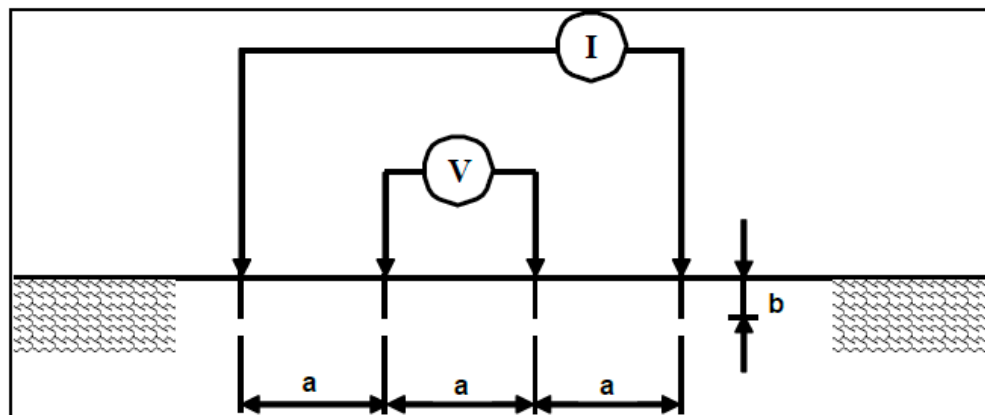
Nota: Adquirido de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

6.3. METODOLOGIA

6.3.1. METODO RESISTIVIDA ELECTRICA

Para el presente trabajo de campo se utilizó la metodología Wenner, debido a que se puede conocer la resistividad de capas profundas hasta los 10 m en promedio sin tener que enterrar los electrodos a distancias equivalentes. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta a una separación idéntica de “a” y a una misma profundidad de penetración “15 cm”, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno.

Figura 45: Esquema de medición de resistividad aparente.



Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023).

6.3.2. MÉTODO SÍSMICO MASW

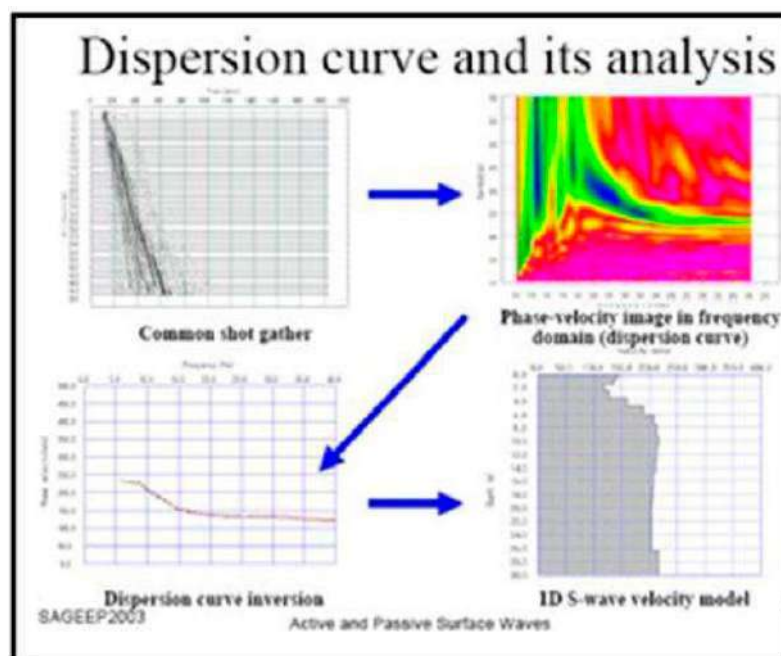
El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un método no destructivo, se usa para evaluar la velocidad de onda de corte (V_s), vinculado al mismo módulo de corte (G). Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park et al., 1999).

El registro se realizó con 12 geófonos en distancias cortas de 9 m uno de otro. Desde una fuente impulsiva o vibratoria (impacto con comba), que proporcionan una redundancia estadística para medir las velocidades de fase. Los datos multicanal obtenidos nos permiten la identificación y rechazo de los modos no fundamentales de ondas Rayleigh, nos permiten también un proceso más efectivo para la eliminación del ruido y un proceso de recolección de datos más rápido.

En el método MASW se utiliza un sistema de registro multicanal para estimar la velocidad de la onda S cerca de la superficie, utilizando los registros de ondas Rayleigh de alta frecuencia. Esta técnica consiste en:

1. La adquisición de ondas superficiales de alta frecuencia (ground roll, también denominadas ondas Rayleigh) utilizando un sistema de registro multicanal de banda ancha.
2. Creación de algoritmos organizados, eficaces y precisos en una sencilla secuencia de procesamiento de datos diseñada para extraer y analizar la curva de dispersión de las ondas Rayleigh.
3. El desarrollo de algoritmos de inversiones estables y eficientes para obtener los perfiles de la velocidad de la onda S.

Figura 46: Metodología técnica geofísica Masw.



Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023).

6.4. PARAMETROS DE ADQUISICION

6.4.1. ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA

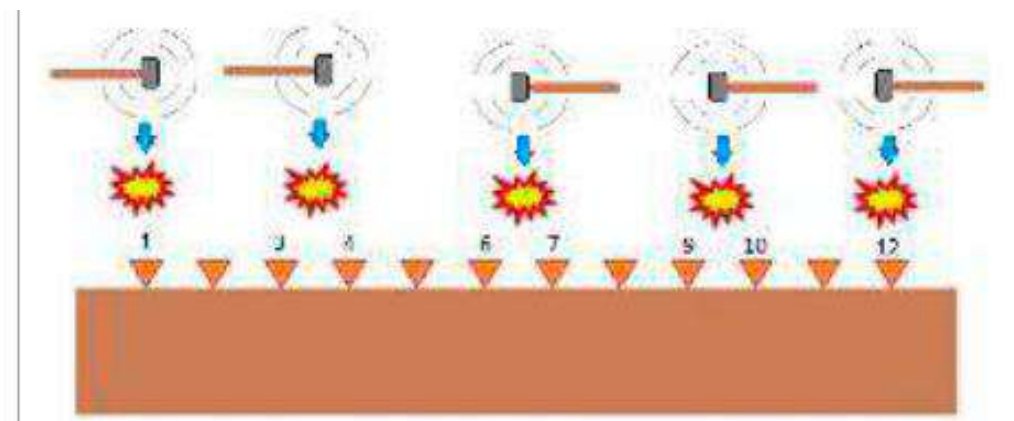
Se realizo la ejecución ensayos geofísicos mediante el método Wenner con longitud de 24m. El Ensayo resistividad del terreno es un método de exploración

geofísica que permite determinar modelos de la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades eléctricas de los materiales que la conforman.

6.4.2. ENSAYO DE SISMICA MASW

La línea se adquirió utilizando 12 receptores (geófonos) espaciados 9 m entre ellos, con una longitud de línea de 99 m. Para la adquisición se utilizaron golpes con comba como fuente generadora de ondas sísmicas, realizando disparos con cinco (05) repeticiones en los extremos de los geófonos 1 y 12; y disparos entre todos los geófonos

Figura 47: Geometría de adquisición, generación de Onda artificial (golpe con Comba).



Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023).

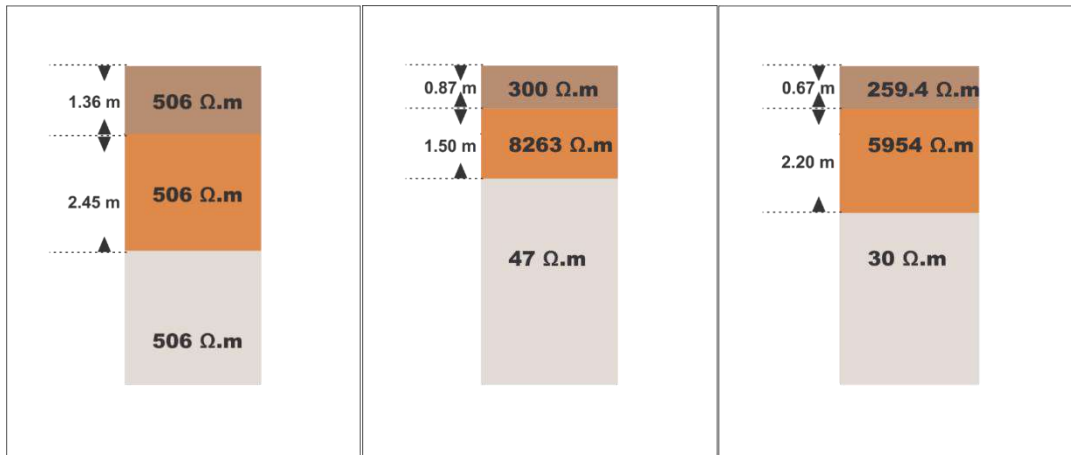
Tabla 40: Parámetros de registro de sismica MASW.

Proyecto:	PPC-AID-MIPAYA
Ensayos:	Doce (12) Ensayos de MASW.
Registro	
Adquirido por:	INGECIENCIA SAC.
Formato de Grabación:	SEG-2
Intervalo de Muestreo:	0.5 ms
Longitud de Registro:	2.0 seg
Fuente	
Tipo:	Comba (maceta)
Intervalo de disparo:	Extremos y puntos intermedios de la línea
Receptores	
Geófono	Geófonos verticales de 4.5 Hz.

6.5.RESULTADOS

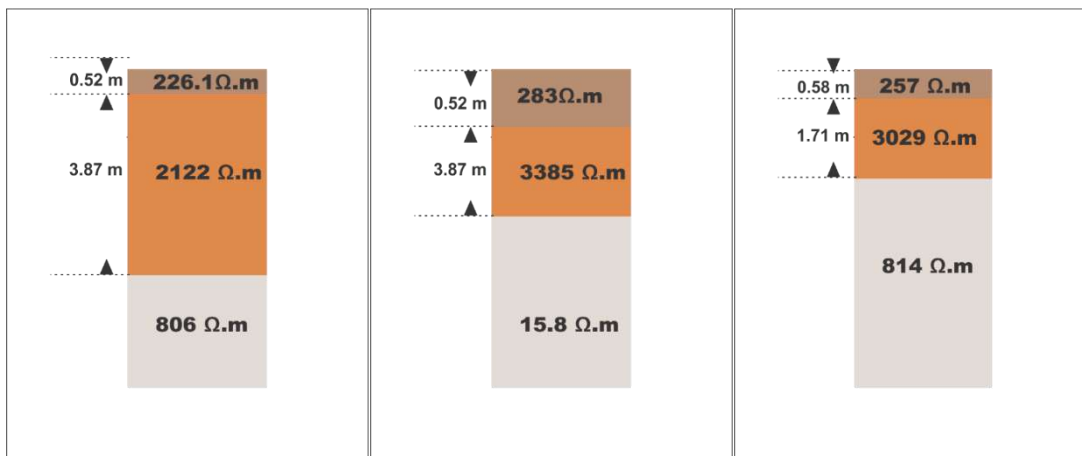
6.5.1. RESULTADOS ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Figura 48: Perfiles 1D de resistividad de puntos: R1, R2 y R-3



Nota: Adaptado de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023).

Figura 49: Perfiles 1D de resistividad de puntos R-4, R5 y R-6

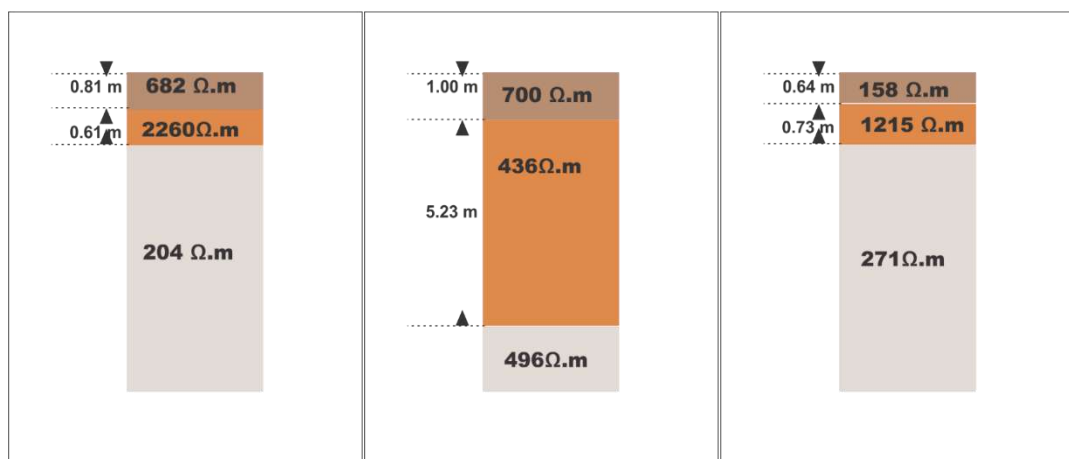


Nota: Adaptado de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

En la zona estudiada se aprecia 3 estratos bien diferenciados, con resistividades aparentes similares: el primer estrato va de resistividades de 226 ohmios metros hasta 506 ohmios metros, se estima espesores desde los 0.52 m hasta los 1.36 m y se interpreta que este compuesto por material residual conformado por arcillas, limos y materia orgánica. El segundo estrato presenta resistividades entre 506 ohmios metros 5954 ohmios metros, se aprecia

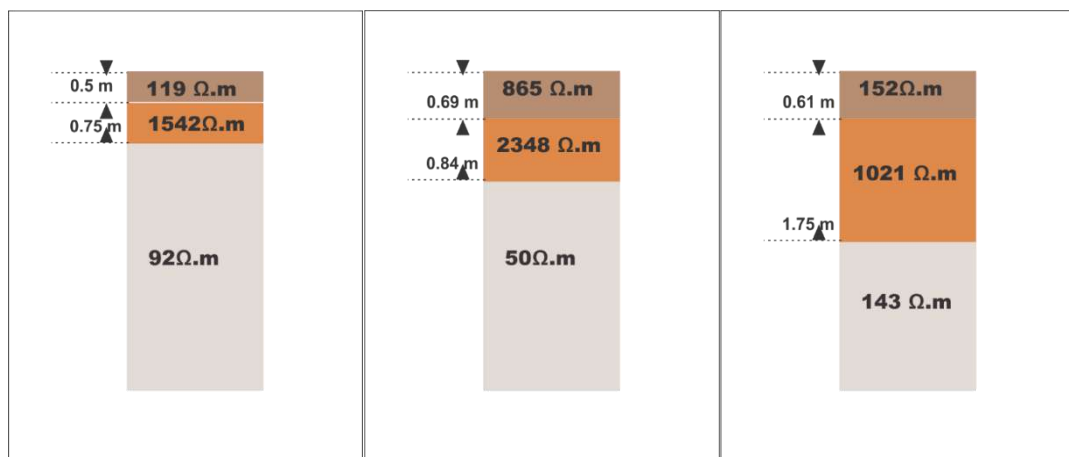
resistividades altas con un espesor desde los 1.50 m hasta 3.87 metros, y se interpreta como material no cohesivo de granos más compactos, como arenas y gravas o gravas en una matriz areno limosa con baja presencia de humedad. El tercer estrato se aprecia una caída de resistividad que van desde los 30 ohmios metros hasta los 814 ohmios metros, se aprecia resistividades bajas en su mayoría, estas van desde profundidades de 2.29 metros y 4.39 metros, se interpreta como presencia de nivel freático, compuesto con materiales permeables como arenas y gravas.

Figura 50: Perfiles 1D de resistividad de puntos R-15, R-16 y R-17



Nota: Adaptado de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

Figura 51: Perfiles 1D de resistividad de puntos R-18, R-19 y R-20



Nota: Adaptado de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

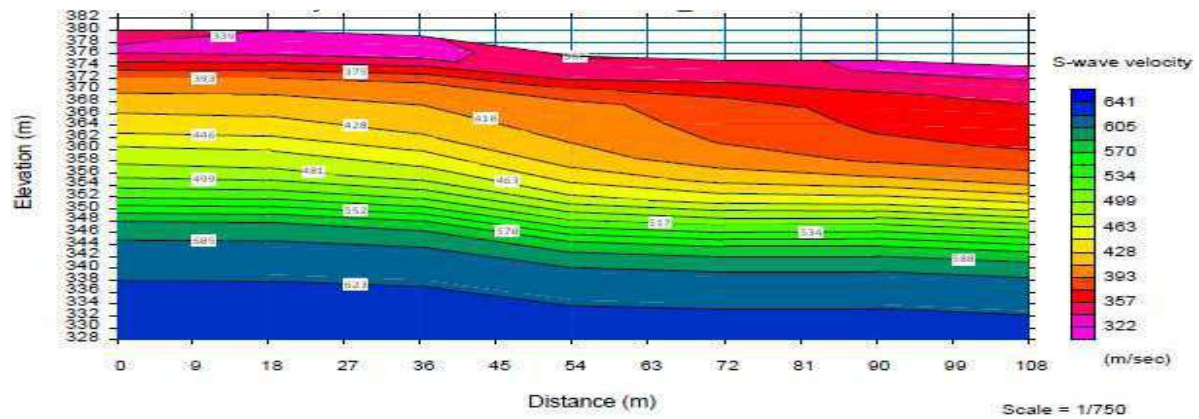


En la segunda zona donde se realizó los trabajos de resistividad eléctrica, se aprecia estratos similares a los anteriores, 3 estratos bien diferenciados: Primer estrato va de resistividades de 119 ohmios metros hasta 865 ohmios metros, se estima espesores desde los 0.50 metros hasta los 1.00 metros y se interpreta como materiales residuales conformados por limos, arcillas, arenas y restos de materia orgánica. El segundo estrato se aprecia un incremento de la resistividad que van desde los 436 ohmios metros a 2348 ohmios metros, se estima espesores que van desde los 0.61 metros los 1.75 metros y una zona con un espesor de 5.23 metros, y se interpreta que este compuesto por material no cohesivo de arenas, arenas limosas o arenas con presencia de gravas. En el tercer estrato se aprecia una caída de la resistividad posiblemente por la presencia del nivel freático, sus resistividades van desde los 92 ohmios metros 496 ohmios metros y van desde las profundidades de 1.42 metros hasta 2.36 y en una zona va desde los 6.23 metros, se interpreta como materiales permeables que puedan filtrar el agua como Arenas y gravas.

6.5.2. RESULTADOS ENSAYO DE SÍSMICA MÁS W

Según el plan de exploración indirecta se realizaron 10 pruebas de sísmica MAS W en dos zonas específicas, posterior a la recopilación de datos de campo se analizó en gabinete con el software Seisimager con el cual se determinó velocidad de ondas (S) las cuales se presentan en secciones transversales de velocidad de Onda S, Al determinar las velocidad de ondas (S) en cada punto se analizó los datos obtenidos y se correlaciono con los datos de exploración directa (perforación y ensayos SPT) para presentar un cuadro de interpretación de estratos geológicos con sus respectivos espesores.

Figura 52: Sección transversal de velocidad de onda. perfil A-A".

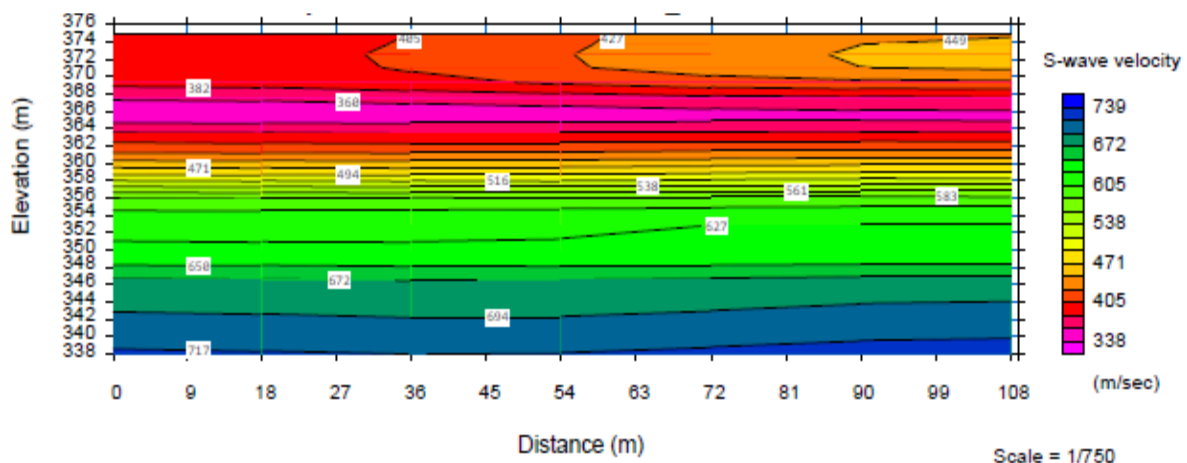


Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

Tabla 41: Descripción de velocidad de onda según profundidad A-A".

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	345.4	1.64	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
	335.16	1.9	1.64	S2	Suelos intermedios	
2	349.71	2.15	3.54	S2	Suelos intermedios	Limos, gravas en matriz arenosa
3	393.89	2.4	5.69	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (G y SM)
	402.46	2.65	8.09	S2	Suelos intermedios	
4	408.7	2.91	10.74	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media o suelos altamente compactos (Lodolitas)
	418.61	3.16	13.65	S2	Suelos intermedios	
	428.38	3.41	16.81	S2	Suelos intermedios	
	459.53	3.66	20.22	S2	Suelos intermedios	
	481.78	3.92	23.88	S2	Suelos intermedios	
5	555.99	4.17	27.8	S1	Roca o suelo muy rígido	Secuencia de roca arenisca y lodolitas
	606.18	4.42	31.97	S1	Roca o suelo muy rígido	
	615.95	4.68	36.4	S1	Roca o suelo muy rígido	
	628.5	14.79	41.07	S1	Roca o suelo muy rígido	
	640.26	*	55.86	S1	Roca o suelo muy rígido	

Figura 53: Sección transversal de velocidad de onda. perfil B-B".



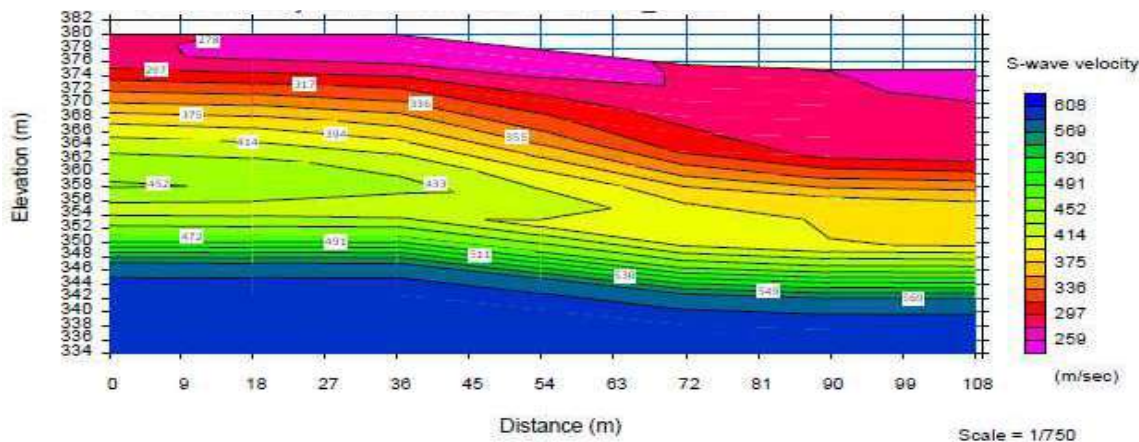
Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)



Tabla 42: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil B-B"

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	395.54	1.14	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
2	399.4	1.32	1.14	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (gravas y arenas)
	400.29	1.49	2.46	S2	Suelos intermedios	
	397.14	1.67	3.96	S2	Suelos intermedios	
	389.08	1.85	5.63	S2	Suelos intermedios	
3	340.2	2.02	7.47	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media o suelos altamente compactos (Lodolitas)
	345.66	2.2	9.49	S2	Suelos intermedios	
	424.65	2.37	11.69	S2	Suelos intermedios	
	437.71	2.55	14.07	S2	Suelos intermedios	
4	563.79	2.73	16.62	S1	Roca o suelos muy rígidos	Secuencia de roca arenisca y lodolitas
	622	2.9	19.34	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	628.43	3.08	22.24	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	629.43	3.25	25.32	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	715.8	10.29	28.57	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	738.71	*	38.86	S1	Roca o suelos muy rígidos	

Figura 54: Sección transversal de velocidad de onda perfil C-C".



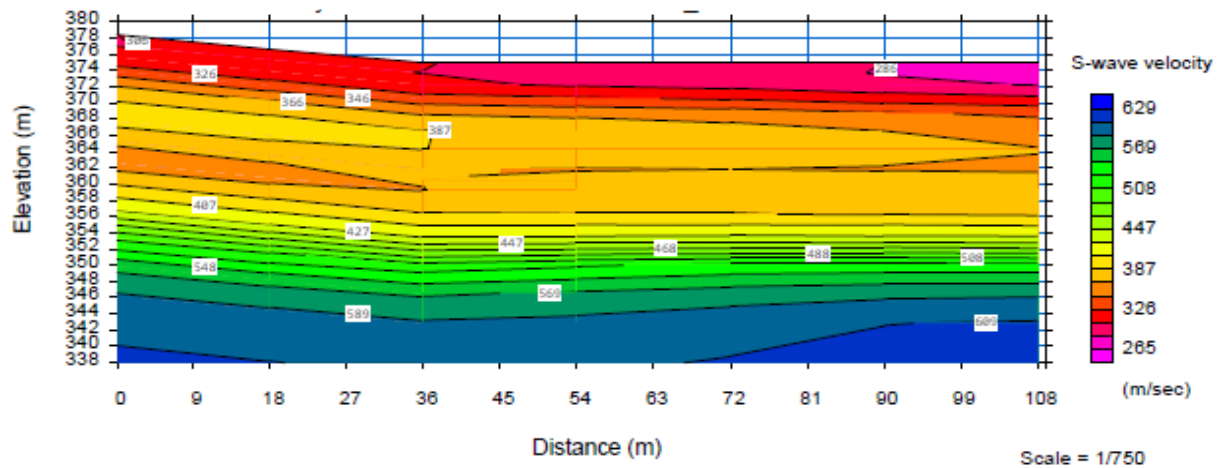
Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

Tabla 43: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil C-C".

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	278.47	1.5	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
	266.77	1.73	1.5	S2	Suelos intermedios	
	274.47	1.96	3.23	S2	Suelos intermedios	
	302.08	2.19	5.19	S2	Suelos intermedios	
	318.7	2.42	7.38	S2	Suelos intermedios	
2	346.2	2.65	9.81	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (gravas en matriz limosa)
	369.78	2.88	12.46	S2	Suelos intermedios	
	402.09	3.12	15.35	S2	Suelos intermedios	
3	429.55	3.35	18.46	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media o suelos altamente compactos (Lodolitas)
	435.64	3.58	21.81	S2	Suelos intermedios	
	395.66	3.81	25.38	S2	Suelos intermedios	
4	549.57	4.04	29.19	S1	Roca o suelos muy rígidos	Secuencia de roca arenisca y lodolitas
	602.93	4.27	33.23	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	604.65	13.5	37.5	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	607.63	*	51	S1	Roca o suelos muy rígidos	



Figura 55: Sección transversal de velocidad de onda perfil D-D".

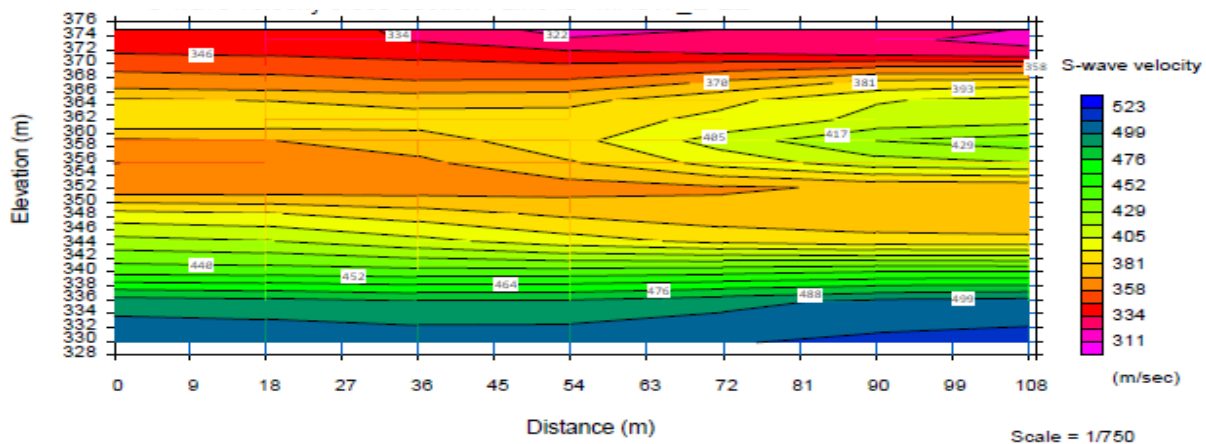


Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

Tabla 44: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil D-D".

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	305.65	1.29	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas con gravas intercaladas)
2	289.62	1.48	1.29	S2	Suelos intermedios	
3	303.92	1.68	2.77	S2	Suelos intermedios	
4	340.64	1.88	4.45	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (gravas en matriz limo arenosa)
5	368.56	2.08	6.33	S2	Suelos intermedios	
6	376.33	2.27	8.41	S2	Suelos intermedios	
7	373.4	2.47	10.68	S2	Suelos intermedios	
8	360.49	2.67	13.15	S2	Suelos intermedios	
9	405.99	2.87	15.82	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media o (Lodolitas)
10	367.66	3.07	18.69	S2	Suelos intermedios	
11	501.67	3.26	21.76	S1	Roca o suelos muy rígidos	Secuencia de roca arenisca y lodolitas
12	571.11	3.46	25.02	S1	Roca o suelos muy rígidos	
13	593.7	3.66	28.48	S1	Roca o suelos muy rígidos	
14	618.02	11.57	32.14	S1	Roca o suelos muy rígidos	
15	629.09	*	43.71	S1	Roca o suelos muy rígidos	

Figura 56: Sección transversal de velocidad de onda perfil E-E".



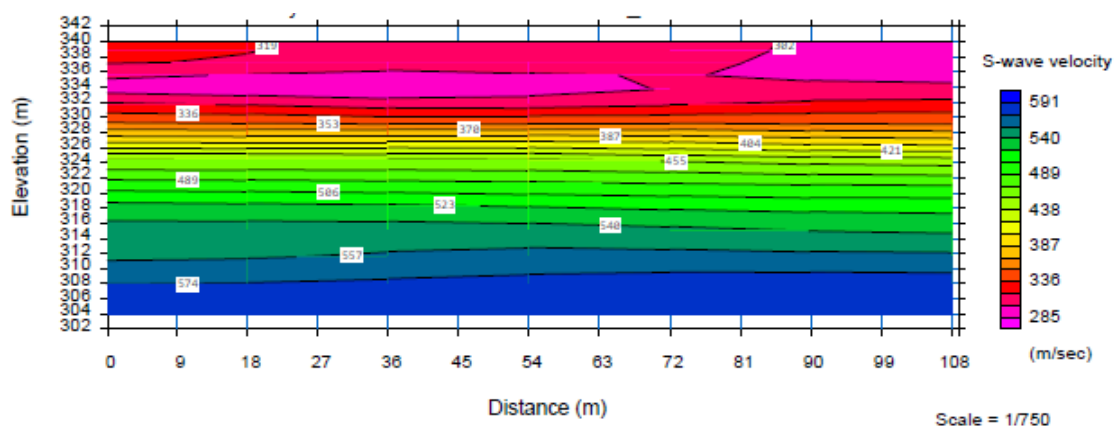
Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)



Tabla 45: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil E-E".

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	338.22	1.57	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos y arena)
	335.91	1.81	1.57	S2	Suelos intermedios	
	348.06	2.05	3.38	S2	Suelos intermedios	
2	357.46	2.3	5.44	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (gravas y arenas)
	363.43	2.54	7.74	S2	Suelos intermedios	
	395.12	2.78	10.27	S2	Suelos intermedios	
3	382.26	3.02	13.05	S2	Suelos intermedios	Gravas en matriz limosa o arenosa
	359.58	3.26	16.08	S2	Suelos intermedios	
	364.4	3.51	19.34	S2	Suelos intermedios	
	357.23	3.75	22.85	S2	Suelos intermedios	
4	425.63	3.99	26.59	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media (Lodolitas)
	403.02	4.23	30.58	S2	Suelos intermedios	
5	486.25	4.47	34.81	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media (Lodolitas)
	493.89	14.14	39.29	S2	Suelos intermedios	
6	523.08	*	53.43	S1	Roca o suelos muy rígidos	Secuencia de roca arenisca y lodolitas

Figura 57: Sección transversal de velocidad de onda perfil F-F".



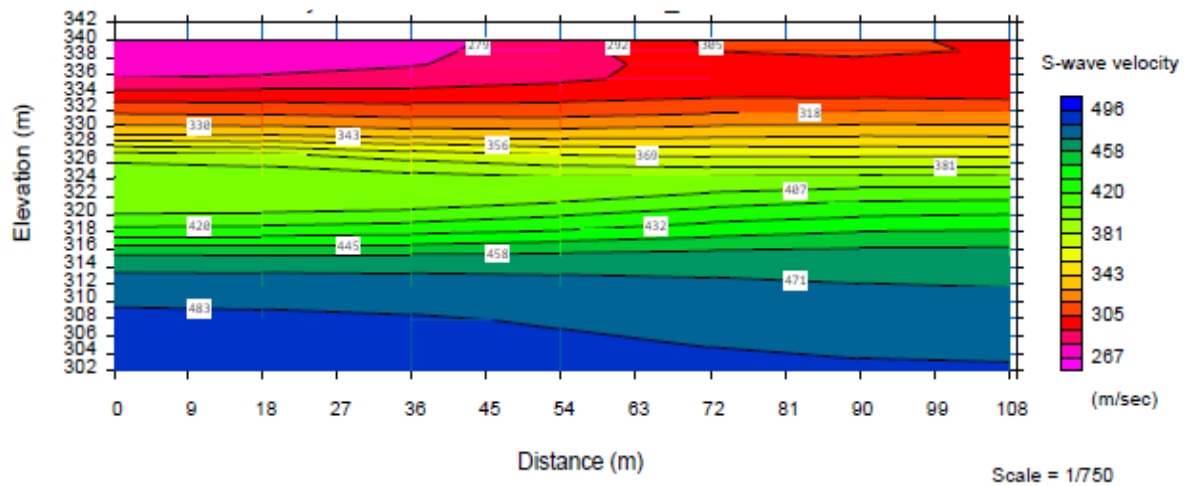
Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

Tabla 46: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil F-F".

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	305.38	1.29	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
	312.48	1.48	1.29	S2	Suelos intermedios	
	305.98	1.68	2.77	S2	Suelos intermedios	
2	286.75	1.88	4.45	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (Arenas limosas)
	290.98	2.08	6.33	S2	Suelos intermedios	
	328.41	2.27	8.41	S2	Suelos intermedios	
3	368.84	2.47	10.68	S2	Suelos intermedios	Gravas en matriz arenosa
	438.75	2.67	13.15	S2	Suelos intermedios	
	480.36	2.87	15.82	S2	Suelos intermedios	
4	501.66	3.07	18.69	S1	Roca o suelos muy rígido	Roca blanda a media o suelos altamente compactos (Lodolitas)
	545.03	3.26	21.76	S1	Roca o suelos muy rígido	
	552.98	3.46	25.02	S1	Roca o suelos muy rígido	
	568.94	3.66	28.48	S1	Roca o suelos muy rígido	
	589.86	11.57	32.14	S1	Roca o suelos muy rígido	
	590.75	*	43.71	S1	Roca o suelos muy rígido	



Figura 58: Sección transversal de velocidad de onda perfil G-G".

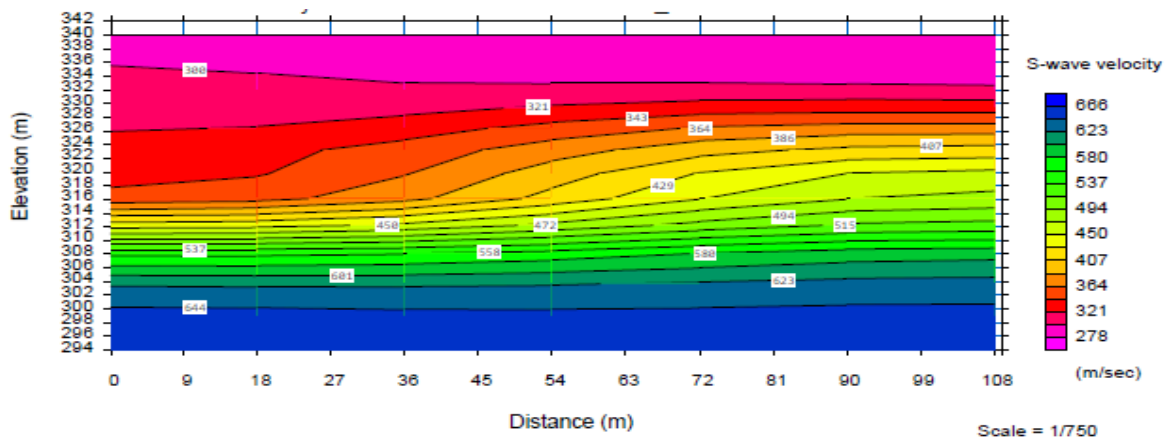


Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)

Tabla 47: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil G-G"

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	299.14	1.29	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
	296.35	1.48	1.29	S2	Suelos intermedios	
2	291.21	1.68	2.77	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (Arenas limosas)
	297.47	1.88	4.45	S2	Suelos intermedios	
	306.17	2.08	6.33	S2	Suelos intermedios	
3	324.78	2.27	8.41	S2	Suelos intermedios	Gravas en matriz arenosa
	347.74	2.47	10.68	S2	Suelos intermedios	
4	385.5	2.67	13.15	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media o suelos altamente compactos (Lodolitas)
	403.6	2.87	15.82	S2	Suelos intermedios	
	419.21	3.07	18.69	S2	Suelos intermedios	
5	450.96	3.26	21.76	S2	Suelos intermedios	Secuencia de roca arenisca y lodolitas
	477.42	3.46	25.02	S2	Suelos intermedios	
	473.11	3.66	28.48	S2	Suelos intermedios	
	489.6	11.57	32.14	S2	Suelos intermedios	
	496.11	*	43.71	S2	Suelos intermedios	

Figura 59: Sección transversal de velocidad de onda perfil H-H".



Nota: Adquirido de informe de Geofísica, (Ingeciencia, 2023)



Tabla 48: Descripción de velocidad de onda según profundidad, perfil H-H''

Capa	Velocidad de ondas Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Descripción	Correlación con exploración directa
1	289.07	1.64	0	S2	Suelos intermedios	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
	282.07	1.9	1.64	S2	Suelos intermedios	
2	287.23	2.15	3.54	S2	Suelos intermedios	Material no cohesivo (Arenas limosas)
	295.82	2.4	5.69	S2	Suelos intermedios	
3	317.09	2.65	8.09	S2	Suelos intermedios	Gravas en matriz arenosa
4	342.84	2.91	10.74	S2	Suelos intermedios	Roca blanda a media o suelos altamente compactos (Lodolitas)
	377.92	3.16	13.65	S2	Suelos intermedios	
	401.22	3.41	16.81	S2	Suelos intermedios	
	430.35	3.66	20.22	S2	Suelos intermedios	
	438.44	3.92	23.88	S2	Suelos intermedios	
5	541.59	4.17	27.8	S1	Roca o suelos muy rígidos	Secuencia de roca arenisca y lodolitas
	606.73	4.42	31.97	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	639.4	4.68	36.4	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	661.64	14.79	41.07	S1	Roca o suelos muy rígidos	
	665.11	*	55.86	S1	Roca o suelos muy rígidos	

Finalmente se encontró que las velocidades de ondas Vs (m/s) van desde los 266 m/s hasta los 738 m/s, según la clasificación de perfiles de suelo por la norma peruana de diseño sismorresistentes E-030 del 2018, encontramos suelos de tipo S1 y S2 descritos como suelos intermedios (S2) y roca o suelos muy rígidos (S1), los suelos intermedios en su mayoría para este estudio están conformado por Suelos residuales (arenas, limos y arcillas) y material no cohesivo como arenas y gravas. Los descritos como Roca o suelos muy rígidos (S1) están determinado por Lodolitas y areniscas.



CAPITULO VII: GEOTECNIA

El presente capítulo contiene el estudio de suelos correspondiente al “Estudio geotécnico del proyecto Mipaya Stand Alone”. El objetivo de este estudio es obtener la información esencial por métodos directos para implementar mejoras en la locación y optimizar la construcción de dicha planta.

Se prevé en la zona la construcción de una estación compresora. Las instalaciones proyectadas se dividen en diversas áreas entre zonas de proceso y áreas de edificaciones, para las cuales las áreas de mayor importancia en temas de estudios geotécnicos son las dos zonas de estación compresora las cuales se detalla:

1. Estación compresora: ubicada al oeste del sitio de interés, está compuesta por:
 - Compresores y sus equipos
 - Flare
2. Estación compresora alternativa: segunda opción de localización de la estación compresora situada al norte de la zona de interés, está compuesta por:
 - Compresores y sus equipos
 - Flare

Este capítulo detalla la caracterización geotécnica del sitio estudiado basada en los datos recolectados durante las actividades de reconocimiento y exploración de campo, los resultados de los ensayos de laboratorio, recomendaciones sobre la cimentación y un análisis exhaustivo de toda la información necesaria.

2.13. 7.1. PLAN DE EXPLORACIÓN DIRECTA

En septiembre de 2023, se ejecutó el plan de exploración del subsuelo en la zona de interés. El plan incluyó perforaciones manuales, así como la realización de ensayos de campo y de laboratorio. La presente Tabla muestra la cantidad de exploraciones del subsuelo realizadas en la zona de estudio.



Tabla 49: Cantidades de exploración directa realizadas

Descripción	Unidad	Cantidad
Perforación profunda (con recuperación de testigos y ensayos SPT) -Prof. 15metros)	Und.	6
Calicatas hasta 3m	Und.	37
Densidad Natural	Und.	37
Ensayos DPL	Und.	8

Nota: Adaptado de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

2.14. 7.2. EXPLORACION GEOTECNICA DIRECTA

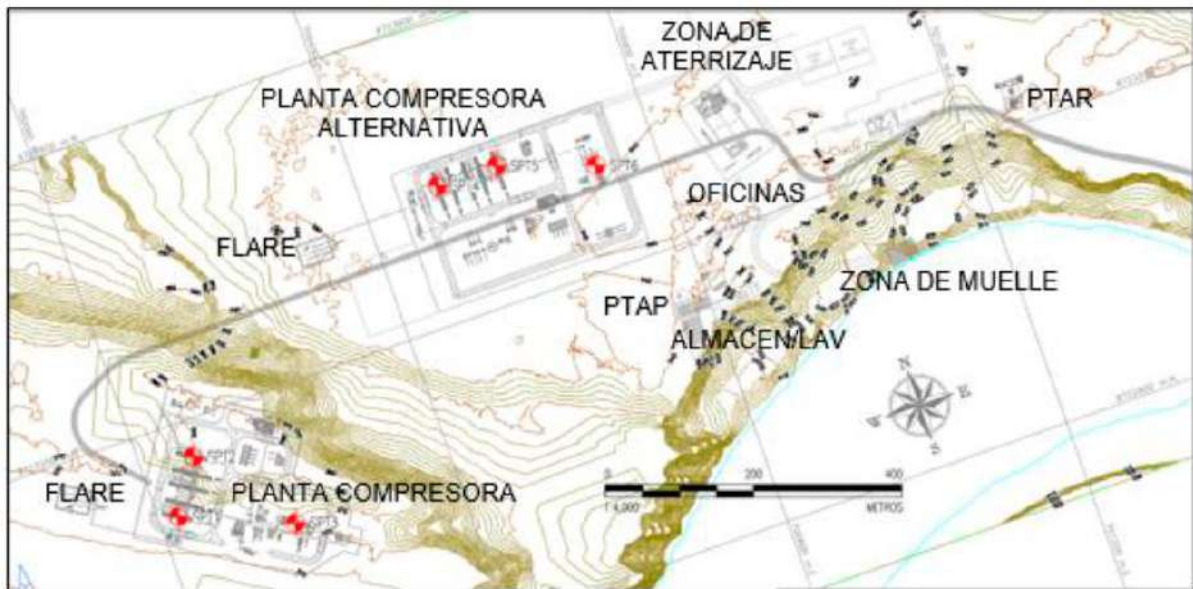
La exploración está compuesta según la tabla mencionada anteriormente y según el plan establecido, cada una de ellas nos determina parámetros geotécnicos o nos obtiene muestras para un posterior análisis y determinación de propiedades físicas y geotécnicas.

- 1. Calicata:** Se realizaron treinta y siete (37) calicatas manuales con extracción de muestras para ensayos de clasificación (granulometría, límites, peso específico y humedad), Proctor modificado y ensayos químicos.
- 2. Ensayos DPL:** se realizaron diecisiete (8) ensayos dinámicos de penetración ligera con el fin de caracterizar los materiales en cada uno de los sitios de interés. El número de golpes se correlacionan con el número de golpes equivalente al ensayo SPT.
- 3. Ensayos SPT:** se realizaron seis (6) ensayos de penetración estándar para determinar capacidades portantes directas insitu.
- 4. Perforación profunda (Perforación por rotación):** Se realizaron seis (2) perforaciones profundas en el mismo pozo donde dio rechazo las pruebas SPT.

7.2.1. SPT

En la zona de estudio se ejecutaron seis (6) sondeos manuales se presenta en la Tabla a continuación.

Figura 60: Localización en planta perforaciones. Estación Compresora Mipaya.



Nota: Adaptado de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

Tabla 50: Sondeos SPT mecánicos ejecutados, profundidad de rechazo y de rotación.

ZONA	ID	TIPO	COORDENADAS UTM 18L		NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD DE RECHAZO (m)	PROFUNDIDAD ALCANZADA CON ROTACION
			E	N			
ESTACION COMPRESORA	SPT-1	sondeo mecánico	700026.15	8723080	NO	2.7	-
	SPT-2	sondeo mecánico	700072.34	8723149.71	NO	5.85	-
	SPT-3	sondeo mecánico	700172.89	8723019.79	NO	2.25	-
ESTACION COMPRESORA alternativa	SPT-4	sondeo mecánico	700504.5	8723384.36	2.7	5.4	-
	SPT-5	sondeo mecánico	700588.61	8723383.15	1.8	9	15.1
	SPT-6	sondeo mecánico	700715.51	8723338.95	NO	2.7	15.25

Nota: Adaptado de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

De las pruebas realizadas se analiza los resultados obtenidos en campo, estas son ajustados teniendo en cuenta la energía del martillo, la longitud de la varilla, el confinamiento efectivo, el revestimiento interno de muestras y el diámetro de la perforación. De esta forma el número de golpes SPT llamado “N de campo” es corregido y se le denomina “N corregido” y se muestran en la siguiente tabla.



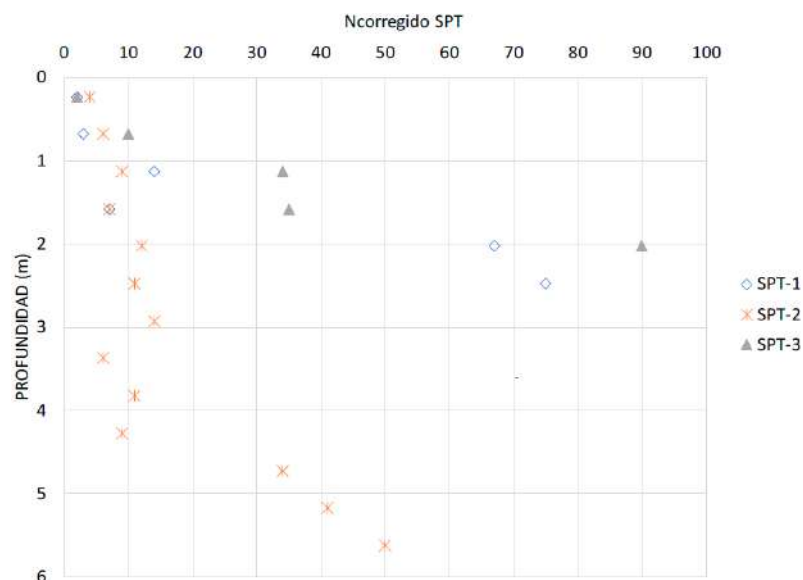
Tabla 51: Resultado N corregido, ensayo SPT

ID	PROFUNDAD (m)			N corregido	Descripción
	DESDE	HASTA	MEDIA		
SPT-1	0	0.5	0.2	2	Arcillas limosas a limos de baja plasticidad
	0.5	0.9	0.7	3	
	0.9	1.4	1.1	14	
	1.4	1.8	1.6	7	Arcilla limosa a arena limosa
	1.8	2.3	2	67	
	2.3	2.7	2.5	75	Arcilla limosa – arena limosa y evidencia de gravas polimigticas
SPT-2	0	0.5	0.2	4	Arcillas limosas a limos de baja plasticidad
	0.5	0.9	0.7	6	
	0.9	1.4	1.1	9	
	1.4	1.8	1.6	7	
	1.8	2.3	2	12	
	2.3	2.7	2.5	11	
	2.7	3.2	2.9	14	Arcilla limosa a arena limosa de baja plasticidad
	3.2	3.6	3.4	6	
	3.6	4.1	3.8	11	
	4.1	4.5	4.3	9	Arcilla limosa – arena limosa y evidencia de gravas polimigticas
	4.5	5	4.7	34	
	5	5.4	5.2	41	Gravas subangulosas en matriz arenosa
	5.4	5.9	5.6	50	
SPT-3	0	0.5	0.2	2	Limo arcilloso a limo arenoso
	0.5	0.9	0.7	10	Limo arcilloso – arenoso
	0.9	1.4	1.1	34	Limo arcilloso – arenoso y vestigios de gravas subangulosas
	1.4	1.8	1.6	35	Gravas subangulosas en matriz de arena limosas a limo arenosos
	1.8	2.3	2	90	
SPT-4	0	0.5	0.2	6	Arcillas limosas a limos baja plasticidad
	0.5	0.9	0.7	9	
	0.9	1.4	1.1	7	
	1.4	1.8	1.6	4	Arcillas a arcillas limosas de baja plasticidad color marrón claro
	1.8	2.3	2	3	
	2.3	2.7	2.5	3	
	2.7	3.2	2.9	4	Arena a areno limoso gris plumizo de nula plasticidad
	3.2	3.6	3.4	27	
	3.6	4.1	3.8	35	
	4.1	4.5	4.3	40	Grava subredondeada a subangulosa en matriz arenosa a areno limoso gris plumizo
	4.5	5	4.7	67	
	5	5.4	5.2	50	
SPT-5	0	0.5	0.2	3	Arcillas limosas a limos de baja plasticidad
	0.5	0.9	0.7	5	
	0.9	1.4	1.1	5	
	1.4	1.8	1.6	8	
	1.8	2.3	2	2	
	2.3	2.7	2.5	5	
	2.7	3.2	2.9	10	Arena limosa a limo arenoso de muy baja plasticidad gris plumiza
	3.2	3.6	3.4	10	
	3.6	4.1	3.8	7	
	4.1	4.5	4.3	14	
	4.5	5	4.7	28	
	5	5.4	5.2	17	
	5.4	5.9	5.6	33	Gravas Subredondeadas a subangulosas <2” gris plumizo en matriz de arena a arena limosa
	5.9	6.3	6.1	42	
	6.3	6.8	6.5	29	
	6.8	7.2	7	28	
	7.2	7.7	7.4	21	
	7.7	8.1	7.9	36	
	8.1	8.6	8.3	47	Lodolitas marrones rojizo
	8.6	9	8.8	87	
SPT-6	0	0.5	0.2	3	Arcillas con lentes de limos de baja plasticidad
	0.5	0.9	0.7	9	
	0.9	1.4	1.1	12	Arcillas limosas a limos arenosos de muy baja plasticidad
	1.4	1.8	1.6	13	
	1.8	2.3	2	39	Arcillas con limos esporádicos de baja plasticidad
	2.3	2.7	2.5	75	



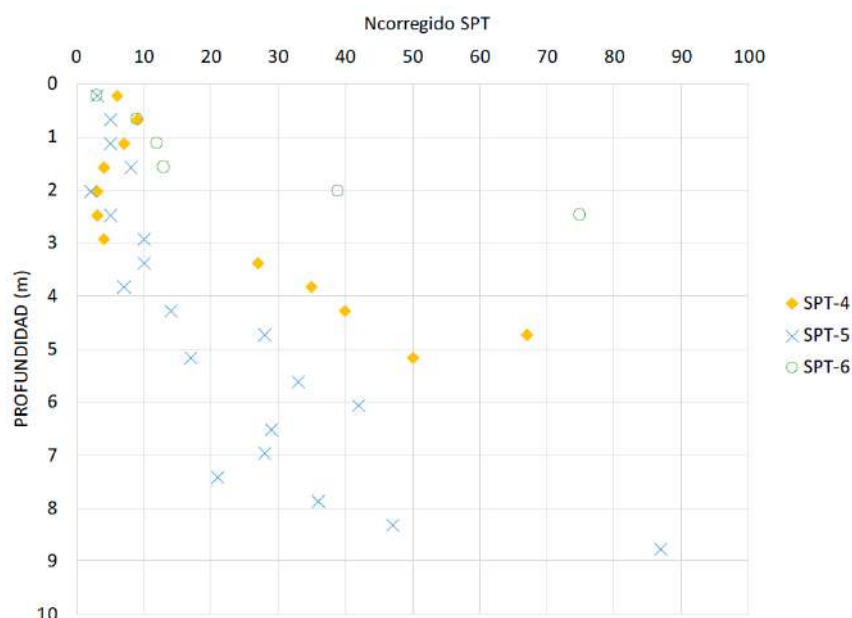
Con el resultado SPT corregido y mediante correlaciones ampliamente utilizadas, es posible obtener parámetros de resistencia al corte (ϕ y C_u) y de compresibilidad. A continuación, se presenta la variación del resultado corregido de SPT (N CORREGIDO) respecto a la profundidad para la estación compresora y la estación compresora alternativa.

Figura 61: Variación del número de golpes N corregido del ensayo de SPT - Estación compresora.



Nota: Adaptado de hojas de cálculos – Ingeciencia

Figura 62: Variación de numero de golpes/pie N corregido del ensayo de SPT -Estación Compresora Alternativa.



Nota: Adaptado de hojas de cálculos – Ingeciencia

En ambas zonas de estudio se observa heterogeneidad de los valores de numero de golpes SPT, por lo tanto, los valores de asentamiento y capacidades de carga calculados con estos datos pueden tener una variación considerable.

7.2.2. DPL

Se realizaron ocho (8) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL). Este tipo de prueba es una versión más simple del SPT (ensayo de penetración estándar), y se diferencia principalmente por su tamaño reducido que permite efectuar trabajos en lugares de difícil acceso. En sitios donde las condiciones de acceso impiden ingresar el equipo del SPT, el DPL es especialmente útil. Sin embargo, tiene la desventaja de no permitir la recuperación de muestras de suelo. La ubicación en planta se muestra en la presente figura y su descripción se encuentra en la Tabla que se describe a continuación.

Figura 63: Localización en planta de los ensayos DPL ejecutados. Estación compresora Mipaya.

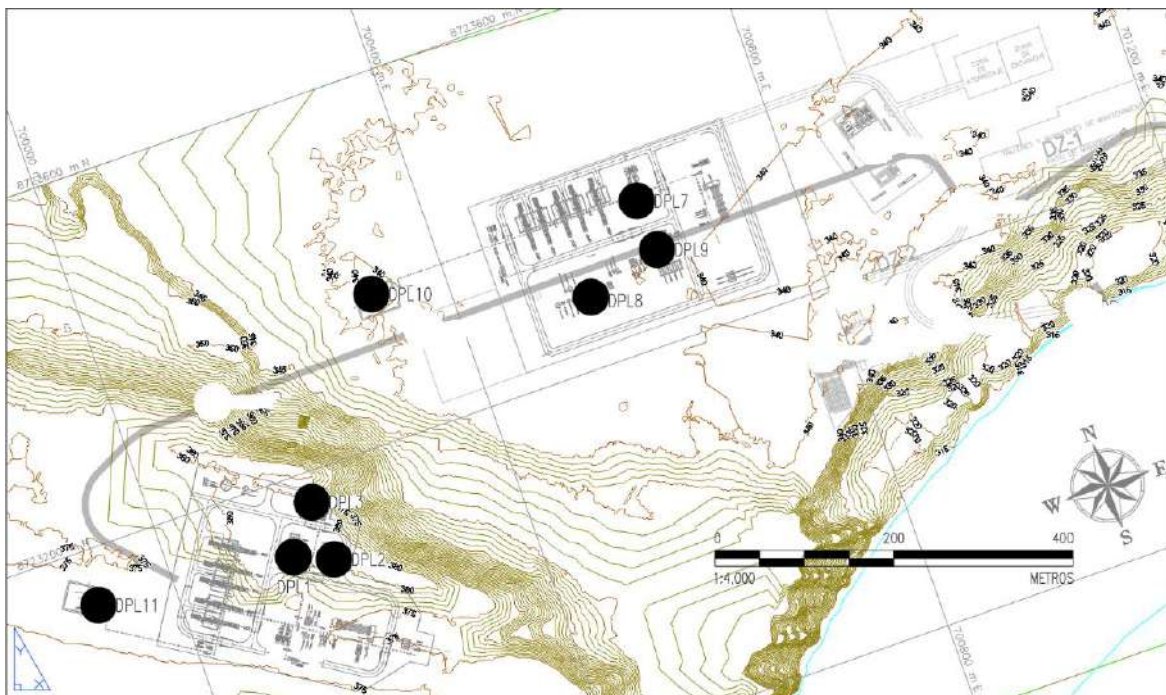




Tabla 52: Ensayo DPL ejecutados en campo.

PENETRACIÓN DINAMICA LIGERA					
ID	NORTE	ESTE	COTA TERRENO (M.S.N.M.)	LOCALIZACION Y REFERENCIA	PROFUNDIDAD (m)
DPL 01	8723130.14	699954.46	380	ESTACION COMPRESORA	Min. 3m o rechazo
DPL 02	8723109.72	700024.23	380		
DPL 03	8723179.3	700025.45	380		
DPL 11	8723126.69	700849.75	375		
DPL 07	8723358.64	700730.13	340	ESTACION COMPRESORA ALTERNATIVA	
DPL 08	8723274.71	700645.99	340		
DPL 09	8723300	700733.32	340		
DPL 10	8723155.28	700776.99	340		

Nota: Adquirido de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

Para los ensayos de penetración dinámica ligera DPL se elaboran perfiles que muestran los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) proporcionan perfiles que muestran el número de golpes en función de la profundidad. Estos datos son esenciales para interpretar perfiles estratigráficos en las zonas de interés. Los resultados del DPL a menudo se correlacionan con otros ensayos geotécnicos, como el SPT (Standard Penetration Test), para obtener estimaciones más precisas de las propiedades del suelo. La presente tabla muestra el número de golpes del DPL y su equivalencia en número de golpes del SPT para cada ensayo realizado.



Tabla 53: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora.

ID	DPL		SPT	
	PROFUNDIDAD (m)	Nº DE GOLPES	PROFUNDIDAD (m)	Nº DE GOLPES
DPL01	0.1	2	0.3	3
	0.2	2	0.6	11
	0.3	4	0.9	57
	0.4	7	1.2	22
	0.5	9		
	0.6	9		
	0.7	30		
	0.8	57		
	0.9	43		
	1	50		
DPL02	0.1	6	0.3	14
	0.2	10	0.6	31
	0.3	16	0.9	30
	0.4	26		
	0.5	25		
	0.6	20		
	0.7	21		
	0.8	47		
DPL03	0.1	7	0.3	11
	0.2	7	0.6	15
	0.3	11	0.9	26
	0.4	12	1.2	15
	0.5	11		
	0.6	12		
	0.7	14		
	0.8	23		
	0.9	23		
	1	35		
DPL11	0.1	9	0.3	12
	0.2	10	0.6	11
	0.3	8	0.9	12
	0.4	7	1.2	32
	0.5	10		
	0.6	9		
	0.7	9		
	0.8	8		
	0.9	11		
	1	24		
	1.1	50		



Tabla 54: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora adicional (primera parte).

ID	DPL		SPT	
	PROFUNDIDAD (m)	N° DE GOLPES	PROFUNDIDAD (m)	N° DE GOLPES
DPL07	0.1	1	0.3	3
	0.2	2	0.6	7
	0.3	4	0.9	9
	0.4	4	1.2	8
	0.5	6	1.5	9
	0.6	6	1.8	49
	0.7	7	2.1	51
	0.8	6		
	0.9	7		
	1	6		
	1.1	5		
	1.2	7		
	1.3	6		
	1.4	7		
	1.5	8		
	1.6	58		
	1.7	26		
	1.8	28		
	1.9	50		
	2	68		
DPL08	0.1	2	0.3	3
	0.2	3	0.6	4
	0.3	3	0.9	6
	0.4	3	1.2	10
	0.5	4	1.5	6
	0.6	3	1.8	6
	0.7	4	2.1	11
	0.8	4	2.4	28
	0.9	5		
	1	7		
	1.1	9		
	1.2	6		
	1.3	5		
	1.4	5		
	1.5	4		
	1.6	5		
	1.7	4		
	1.8	4		
	1.9	6		
	2	9		
	2.1	10		
	2.2	11		
	2.3	53		

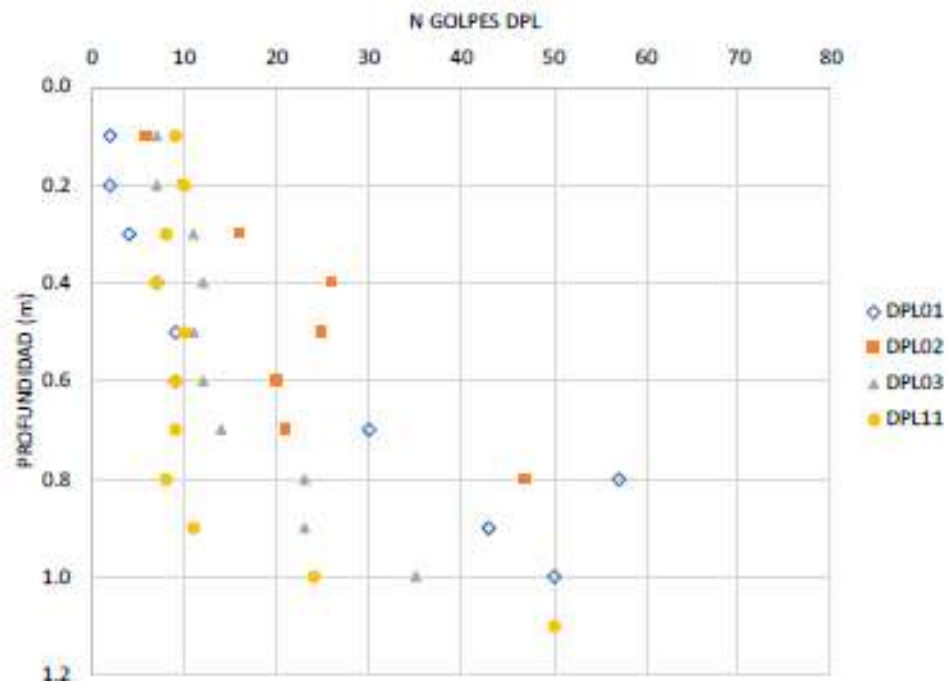


Tabla 55: Número de golpes ensayo DPL y equivalente a Número de golpes SPT. Zona de estación compresora adicional (Segunda parte).

DPL09	0.1	2	0.3	3
	0.2	2	0.6	4
	0.3	3	0.9	7
	0.4	3	1.2	7
	0.5	2	1.5	5
	0.6	4	1.8	6
	0.7	5	2.1	63
	0.8	6	2.4	30
	0.9	6		
	1	5		
	1.1	5		
	1.2	5		
	1.3	4		
	1.4	4		
	1.5	3		
	1.6	3		
	1.7	4		
	1.8	6		
	1.9	21		
	2	65		
	2.1	58		
	2.2	70		
DPL10	0.1	1	0.3	3
	0.2	4	0.6	5
	0.3	3	0.9	4
	0.4	3	1.2	5
	0.5	5	1.5	5
	0.6	4	1.8	4
	0.7	4	2.1	5
	0.8	3	2.4	7
	0.9	3	2.7	8
	1	3	3	9
	1.1	5		
	1.2	4		
	1.3	4		
	1.4	3		
	1.5	4		
	1.6	2		
	1.7	4		
	1.8	3		
	1.9	3		
	2	3		
	2.1	5		
	2.2	4		
	2.3	5		
	2.4	6		
	2.5	6		
	2.6	6		
	2.7	7		
	2.8	6		
	2.9	7		
	3	7		

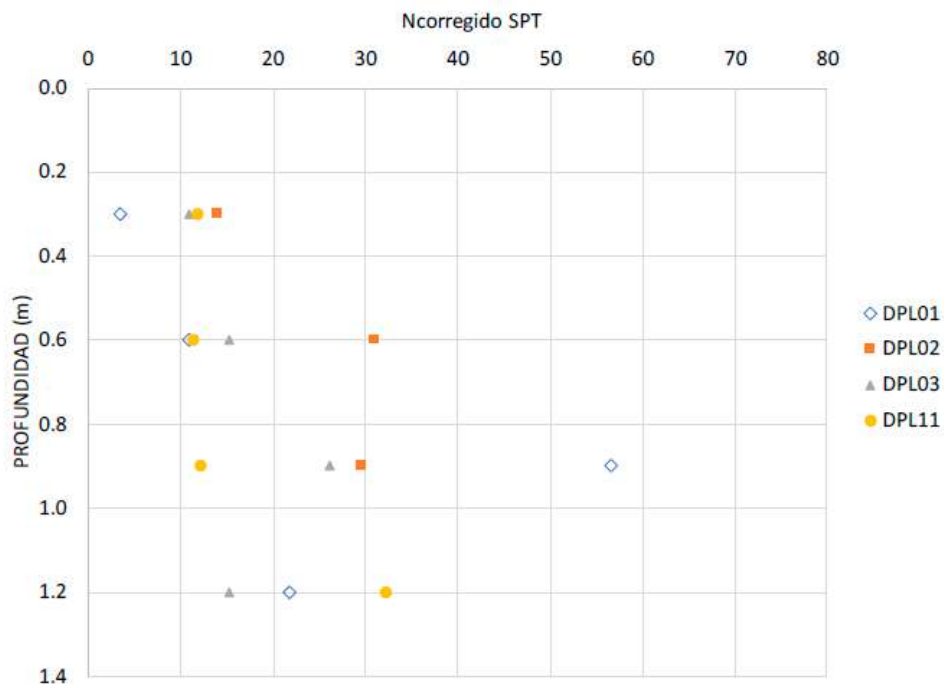


Figura 64: Variación del número de golpes del ensayo de DPL- Estación compresora.



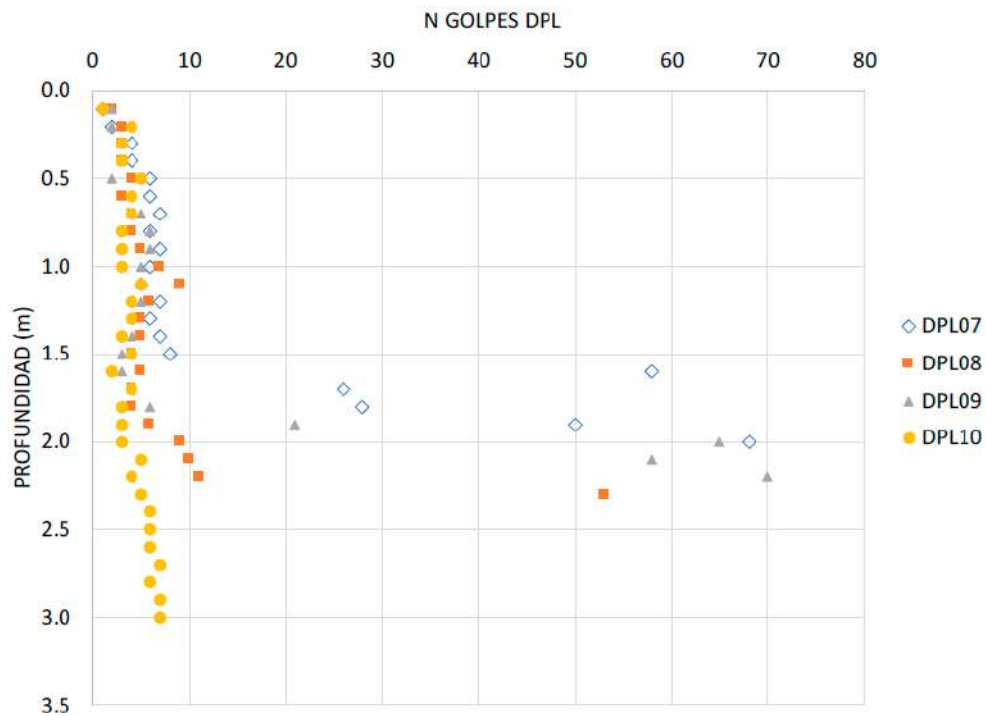
Nota: Adaptados de hojas de cálculos – Ingeciencia

Figura 65: Numero de golpes equivalente SPT a partir del ensayo de DPL- Estación compresora



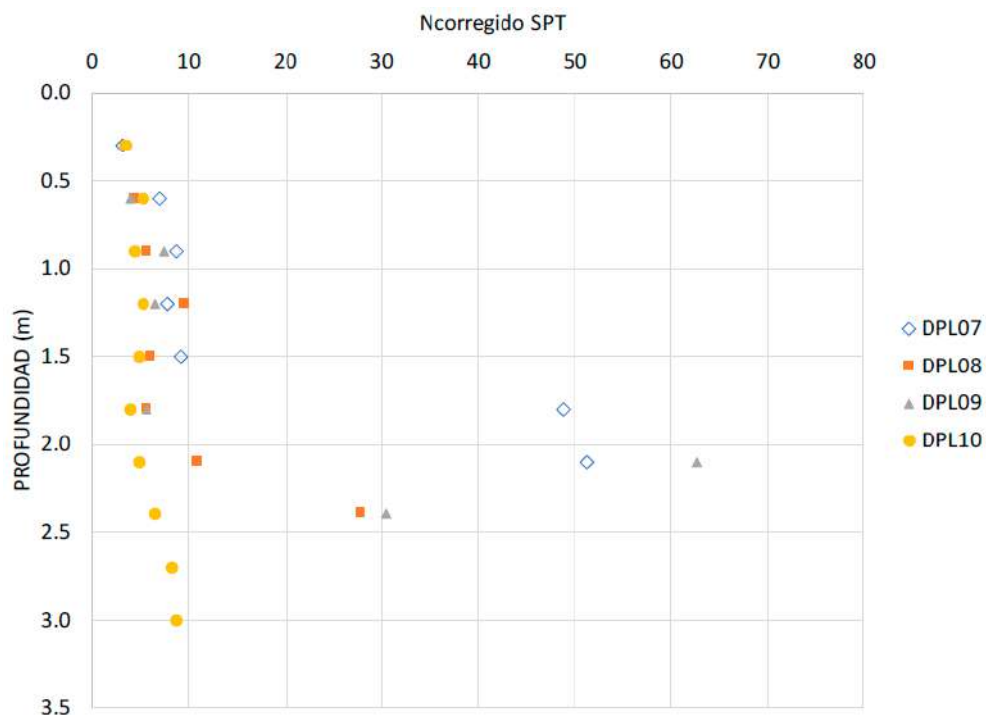
Nota: Adaptados de hojas de cálculos – Ingeciencia

Figura 66: Variación del número de golpes del ensayo de DPL- Estación compresora alternativa.



Nota: Adaptados de hojas de cálculos – Ingeciencia

Figura 67: Numero de golpes equivalente SPT a partir del ensayo de DPL- Estación compresora alternativa.



Nota: Adaptado de hojas de cálculos – Ingeciencia



A partir de la propuesta de Álvaro J. Gonzales (1999) estimaciones de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. Es posible evaluar los parámetros de resistencia efectivos c' y ϕ' utilizando datos del ensayo de penetración estándar (SPT). Aunque se trata de estimaciones, ofrecen resultados inicialmente útiles, siendo especialmente precisos para materiales granulares e intermedios. Sin embargo, su precisión disminuye en materiales cohesivos. Esta correlación es una herramienta valiosa para una primera aproximación en el análisis geotécnico. Se ajustaron las correlaciones a materiales no cohesivos estableciendo $c'=0$, con el objetivo de mejorar la precisión en el cálculo del ángulo de fricción. Los valores calculados son presentados en la presente Tabla.

Tabla 56: Parámetros estimados a partir de los resultados de los ensayos SPT y DPL realizados en campo.

AREA	ID	C' (KPA)	ϕ (°)	LOCALIZACIÓN	OBSERVACIONES
ESTACIÓN COMPRESORA	CL – ML	0	31.19	Espesores de 1.8 a 4 metros de profundidad desde superficie	Conformado por material arcilloso limoso a limoso, baja plasticidad.
	SM	0	40.83	A partir de 3 de profundidad hasta 2 metros de espesor	Conformado por material de arenas limos a arenas arcillosas, muy baja plasticidad a nula. Se evidencian gravas polimíctica subangulosas <2".
	GM	0	37.78	A partir de 5 metros de profundidad	Conformado por gravas subangulosas a subredondeadas <2", envueltas en una matriz arenosa a arenosa de grano medio a grueso
ESTACIÓN COMPRESORA ALTERNATIVA	CL- ML	0	33.03	Espesores de 1.8 a 3 metros de profundidad desde superficie	Conformado por arcillas a arcilla limosa, baja plasticidad, color marrón claro.
	SM	0	33.85	A partir de 2 metros de profundidad con 2 metros de espesor	Conformado por arena limosa a limos arenosos, baja a muy baja plasticidad, gris plumizo.
	GM	0	39.95	A partir de 3 metros de profundidad hasta 5 metros de espesor	Conformado por grava subredondeada a subangulosa, en matriz arenosa a areno limoso, gris plumizo, muy baja a nula plasticidad.

Nota: Simbología de: C' : Cohesión efectiva. ϕ : Ángulo de fricción Interna



7.2.3. PERFORACIÓN POR ROTACIÓN Y SPT MECANICO

7.2.3.1. CALCULO DEL RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

El índice RQD (Rock Quality Designation) desarrollado por **Deere entre 1963 y 1967**, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

$$RDQ = \sum \frac{\text{Longitud de los trozos de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total}} \times 100$$

Para la estimación del RQD se considera solo los fragmentos o trozos de testigo de material fresco, excluyéndose los que presentan un grado de alteración importante (a partir de grado IV inclusive), para los que se considera un RQD = 0%. La medida del RQD se debe realizar en cada maniobra del sondeo o en cada cambio litológico, siendo recomendable que la longitud de maniobra no exceda de 1.5 m. El diámetro mínimo de los testigos debe ser 48 mm. La medida de la longitud del testigo se realiza sobre el eje central del mismo, considerándose los fragmentos con, al menos, un diámetro completo.

A continuación, se muestra el procedimiento de medida del RQD y se describe la calidad de la roca en función de este índice:

Tabla 57: Porcentaje de calidad de la Roca a partir del valor del RQD.

RQD	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy Buena

Nota: Adaptado de Determination and applications of RQD (Clayton ,1995).



7.2.3.2. PORCENTAJE DE RECUPERACION DE TESTIGOS

El porcentaje de recuperación definido por **Deere en 1967**, como:

$$\text{Tasa de recuperacion \%} = \frac{\text{Longitud del nucleo recuperado}}{\text{Longitud teorica del nucleo recortado}} \times 100$$

La recuperación de los suelos encontrados, fue lo más completa posible. A continuación, se resume el porcentaje de recuperación por tramos de perforación

Tabla 58: Porcentaje de recuperación de testigos SPT 05 mecánico y Perforación DDH.

PROFUNDIDAD		%CORE		SONDEO: SPT 05	
DESDE	HASTA	PERFORADO (m)	RECUPERACIÓN (m)	RECUPERACIÓN (%)	METODO DE PERFORACIÓN
0.00	9.00	9.00	-	-	SPT MECANICO
9.00	10.00	1.00	1.00	100.00	
10.00	11.30	1.30	1.30	100.00	
11.30	11.90	0.60	0.60	100.00	
11.90	13.00	1.10	1.10	100.00	ROTACION
13.00	13.70	0.70	0.70	100.00	
13.70	14.50	0.80	0.80	100.00	
14.50	15.10	0.60	0.60	100.00	
FIN DE PERFORACION					
RECUPERACION PROMEDIO:				100.00	

Tabla 59: Porcentaje de recuperación de testigos SPT 06 mecánico y Perforación DDH.

PROFUNDIDAD		%CORE		SONDEO: SPT 05	
DESDE	HASTA	PERFORADO (m)	RECUPERACIÓN (m)	RECUPERACIÓN (%)	METODO DE PERFORACION
0.00	2.70	2.70	-	-	SPT MECANICO
2.70	3.50	0.80	0.80	100.00	
3.50	4.00	0.50	0.50	100.00	
4.00	6.70	2.70	2.50	92.59	
6.70	7.00	0.30	0.30	100.00	ROTACION
7.00	7.25	0.25	0.25	100.00	
7.25	7.75	0.50	0.50	100.00	
7.75	8.50	0.75	0.75	100.00	
8.50	9.20	0.70	0.70	100.00	
9.20	10.00	0.80	0.80	100.00	
10.00	10.70	0.70	0.70	100.00	
10.70	11.50	0.80	0.80	100.00	
11.50	12.50	1.00	1.00	100.00	
12.50	13.00	0.50	0.50	100.00	
13.00	14.00	1.00	1.00	100.00	
14.00	15.25	1.25	1.25	100.00	
FIN DE PERFORACIÓN					
RECUPERACIÓN PROMEDIO:				99.50	

Figura 68: Labores de perforación por el método SPT mecánico, punto SPT - 5.



Figura 69: Labores de perforación por el método SPT 06 mecánico.



Figura 70: Caja de muestras de perforación mecánica SPT, sondeo SPT - 5.





7.2.3.3. RESULTADOS DE SONDAJES SPT y PERFORACION DDH:

Tabla 60: Valores de RQD obtenidos en el SPT 05 y posterior perforación DDH.

RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION) - Sonda SPT 05							
PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD RECOBRADA	RECOBRO	RQD		CALIDAD DE ROCA
DE	A	(m)	(m)	(%)	>10CM	(%)	
9	10	1	1	100	0.35	35	Mala
10	11.3	1.3	1.3	100	0.57	43.85	Media
11.3	11.9	0.6	0.6	100	0.3	50	Mala
11.9	13	1.1	1.1	100	0.75	68.18	Media
13	13.7	0.7	0.7	100	0.14	20	Muy mala
13.7	14.5	0.8	0.8	100	0.3	37.5	Mala
14.5	15.1	0.6	0.6	100	0.15	25	Mala

Tabla 61: Valores de RQD obtenidos en el SPT 06 y posterior perforación DDH.

RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION) - Sonda SPT 06							
PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD RECOBRADA	RECOBRO	RQD		CALIDAD DE ROCA
DE	A	(m)	(m)	(%)	>10CM	(%)	
7.25	7.75	0.5	0.5	100	0.34	68	Media
7.75	8.5	0.75	0.75	100	0.45	60	Media
8.5	9.2	0.7	0.7	100	0.45	64.29	Media
9.2	10	0.8	0.8	100	0.5	62.5	Media
10	10.7	0.7	0.7	100	0.12	17.14	Muy mala
10.7	11.5	0.8	0.8	100	0.1	12.5	Muy mala
11.5	12.5	1	1	100	0.6	60	Media
12.5	13	0.5	0.5	100	0.35	70	Media
13	14	1	1	100	0.45	45	Mala
14	15.25	1.25	1.25	100	0.77	61.6	Media



7.2.3. CALICATAS (RESULTADOS)

7.2.3.1. excavación de calicatas

Se ejecutaron treinta siete (37) excavaciones de calicatas manuales de forma rectangulares con una profundidad de 3 metros máximo o en casos al encontrarse roca o nivel freático, se realiza la auscultación hasta este límite, según la norma técnica peruana (NTP 339.136:1999). En cada una de las calicatas se realiza los ensayos de densidad de campo como también el ensayo de humedad natural en campo con SPEEDY, se realiza la descripción y observación de los suelos bajo la norma peruana estándar NTP.339.150 y ASTM-D 2488 Standar Practice for Description and Identification (Visual-Manual Procedure).

7.2.3.2. Densidad de campo insitu mediante el método de cono de arena

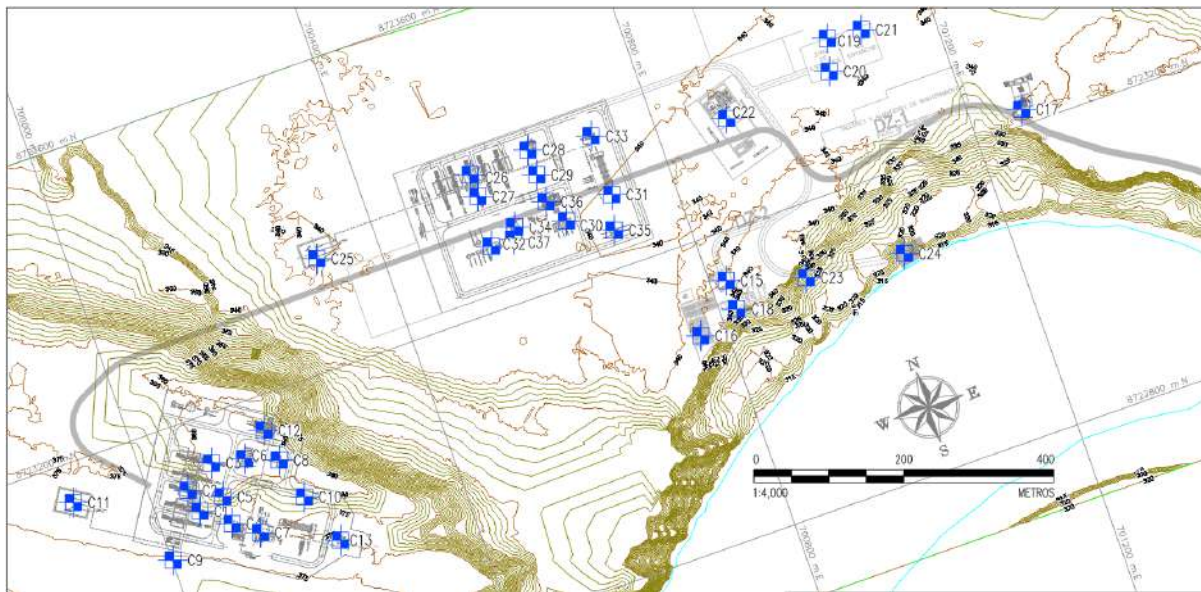
Se ejecutaron las pruebas de densidad natural in-situ en cada una de las calicatas ejecutadas, según la norma peruana NTP 3339.143: Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena. Los suelos donde se realizaron las pruebas cumplen con las especificaciones para la prueba, los suelos no superan las 2 pulgadas de tamaño, no son saturados y entre otros. El equipo para la prueba y la arena son previamente calibrados en laboratorio.



Tabla 62: Tabla de densidad natural en campo.

ZONA	ID	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD NATURAL (gm/cm3)
ESTACIÓN COMPRESORA	C1	1	1.75	1.87
	C2	1	1.20	1.9
	C3	1	1.15	1.86
	C4	1	1.95	1.61
	C5	1	0.45	1.74
	C6	1	2.10	1.62
	C7	1	1.00	1.67
	C8	1	1.05	1.82
	C9	1	1.20	1.75
	C10	1	1.90	1.73
	C12	1	1.75	1.70
	C13	1	1.75	1.73
FLARE / ESTACIÓN COMPRESORA	C11	1	2.05	1.64
OTRAS ZONAS	C14	1	1.20	1.87
	C15	1	1.60	1.77
	C16	1	1.68	1.79
	C17	1	1.40	1.86
	C18	1	1.70	1.72
	C19	1	1.35	1.87
	C20	1	0.35	1.8
	C21	1	1.50	1.87
	C22	1	2.65	2.04
	C23	1	0.00	2.14
	C24	1	2.60	1.77
FLARE / ESTACIÓN COMPRESORA ALT	C25	1	0.30	1.62
ESTACIÓN COMPRESORA ALTERNATIVA	C26	1	1.026	1.73
	C27	1	1.10	1.84
	C28	1	1.78	1.66
	C29	1	1.45	1.78
	C30	1	1.70	1.84
	C31	1	1.40	1.74
	C32	1	0.55	1.68
	C33	1	1.70	1.51
	C34	1	0.30	1.82
	C35	1	0.60	1.71
	C36	1	1.40	1.77
	C37	1	0.50	1.68

Figura 71: Mapa de ubicación de calicatas ejecutadas

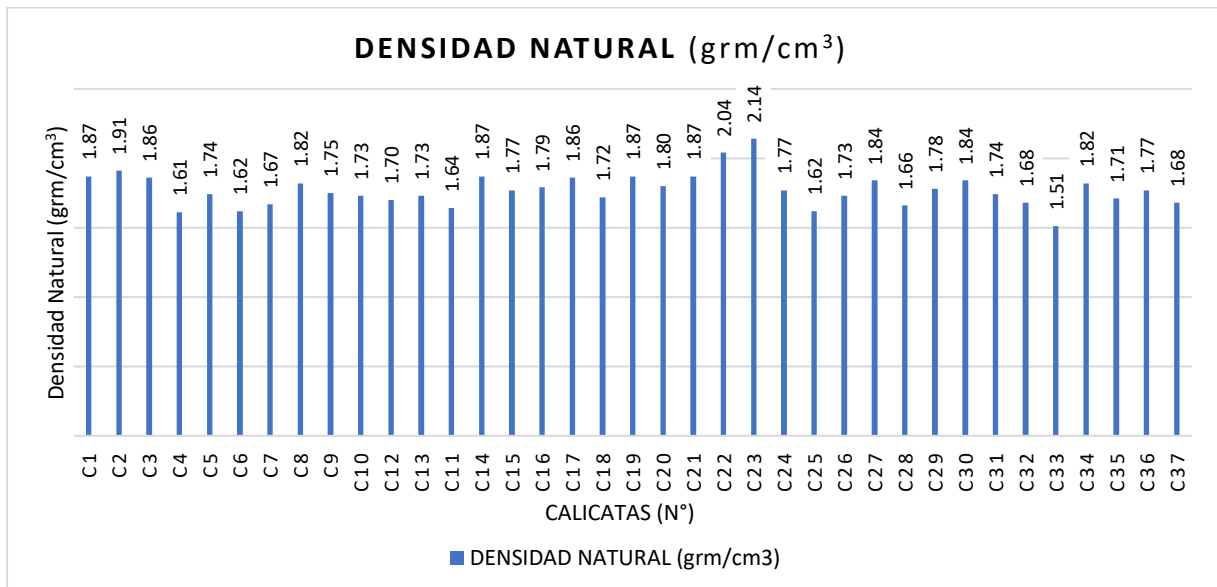


Nota: Dentro de la cada calicata se ejecutó 1 prueba de densidad de campo.

Se analiza los valores de densidad natural in-situ donde se observa que el valor máximo es de 2.14 gr/cm^3 en la calicata C-23, se parecía que en esa zona los suelos presentan mayor densidad natural, consideramos que en esa zona el suelo presenta mayor compactación y mayor peso unitario con referencia a los demás suelos, el valor mínimo de densidad es de 1.51 gr/cm^3 ubicado en la calicata C-33, se aprecia densidades menores en esa zona y también en la zona de C-4 hasta C-7, esos suelos de menor compacidad tendrán que ser evaluados para una mejoramiento de suelo.



Figura 72: Grafico de densidades naturales de campo.



7.2.4. NIVEL FREATICO

En cada una de las exploraciones directas, ya sean perforaciones o calicatas, se registró la profundidad del nivel freático en caso de encontrarse. Los niveles freáticos detectados se presentan en la Tabla 45.

El nivel freático en la zona de estudio presenta una profundidad media de 1.8 m. Sin embargo, en algunos casos, se ha detectado un nivel freático de solo 0.6 m por debajo de la superficie. Esta condición puede afectar la construcción de cimentaciones superficiales. Por lo tanto, en las áreas donde se tiene previsto instalar los equipos, especialmente en la estación compresora y en la estación compresora alternativa, es esencial planificar el control de las aguas subterráneas. Para ello, se recomienda el uso de filtros hasta una profundidad mínima de 3 metros.



Tabla 63: Registro de NF encontrado en cada una de las exploraciones realizadas.

ID	NF (m)	ID	NF (m)	ID	NF (m)
SPT-01	NO SE OBSERVO	CAL-10	NO SE OBSERVO	CAL-25	2.6
SPT-02	NO SE OBSERVO	CAL-11	NO SE OBSERVO	CAL-26	2.25
SPT-03	NO SE OBSERVO	CAL-12	NO SE OBSERVO	CAL-27	2.45
SPT-04	2.7	CAL-13	NO SE OBSERVO	CAL-28	2.5
SPT-05	2.8	CAL-14	NO SE OBSERVO	CAL-29	2.8
SPT-06	NO SE OBSERVO	CAL-15	NO SE OBSERVO	CAL-30	2.7
CAL-01	NO SE OBSERVO	CAL-16	NO SE OBSERVO	CAL-31	2
CAL-02	NO SE OBSERVO	CAL-17	NO SE OBSERVO	CAL-32	2.9
CAL-03	NO SE OBSERVO	CAL-18	NO SE OBSERVO	CAL-33	2.6
CAL-04	NO SE OBSERVO	CAL-19	NO SE OBSERVO	CAL-34	2.4
CAL-05	NO SE OBSERVO	CAL-20	NO SE OBSERVO	CAL-35	2.9
CAL-06	NO SE OBSERVO	CAL-21	NO SE OBSERVO	CAL-36	2.2
CAL-07	NO SE OBSERVO	CAL-22	NO SE OBSERVO	CAL-37	2.9
CAL-08	NO SE OBSERVO	CAL-23	NO SE OBSERVO		
CAL-09	2.5	CAL-24	NO SE OBSERVO		

7.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

De las muestras obtenidas de la fase de exploración del subsuelo, se seleccionaron aquellas representativas de cada uno de los estratos identificados, con el fin de consolidar un perfil promedio del suelo.

Para la determinación de las propiedades índice de los suelos y el ajuste de las descripciones realizadas en campo, se realizaron ensayos de humedad natural, límites de consistencia, peso unitario, granulometría por tamizado, peso específico, compresión Inconfinada, consolidación y compresión triaxial.

En la siguiente Tabla 64 se presenta la cantidad de ensayos ejecutados a lo largo de toda la zona del proyecto.



Tabla 64: Cantidad de ensayos de laboratorio ejecutados.

ENSAYO	NORMA	NUMERO TOTAL DE ENSAYOS
HUMEDAD NATURAL	ASTM D2216	53
	MTC E 108	
LIMTES DE ATTERBERG	ASTM D 4318	53
	MTC E 110	
	MTC E 111	
PESO UNITARIO	ASTM D 4531	53
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO	ASTM D 422	53
	MTC E 107	
PROCTOR MODIFICADO	ASTM D 1557	4
	MTC E 115	
	NTP 339.141	
	ASTM D 4718	
COMPRESION NO CONFINADA	ASTM D 2166	4
	AASHTO T-208	
CONSOLIDACION UNIDIRECCIONAL DE SUELOS	ASTM D 2435	6
	AASHTO T-216	
COMPRESION TRIAXIAL (UU)	ASTM D 2850	4
CORTE DIRECTO	ASTM D 3080	12

Nota: Adaptado de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

7.3.1. HUMEDAD Y LÍMITES DE CONSISTENCIA.

Los límites de Atterberg en un suelo determinan su estado de consistencia en función de la humedad encontrada en la muestra. En la **Tabla 65**, se muestran los valores obtenidos de humedad natural y los límites correspondientes para cada muestra ensayada. **Las figuras 72 y Figura 73** muestran respectivamente, la variación con la profundidad de la humedad y del índice de consistencia. Este último parámetro indica el grado en el que el suelo se acerca al estado sólido, y se calcula mediante la siguiente relación:



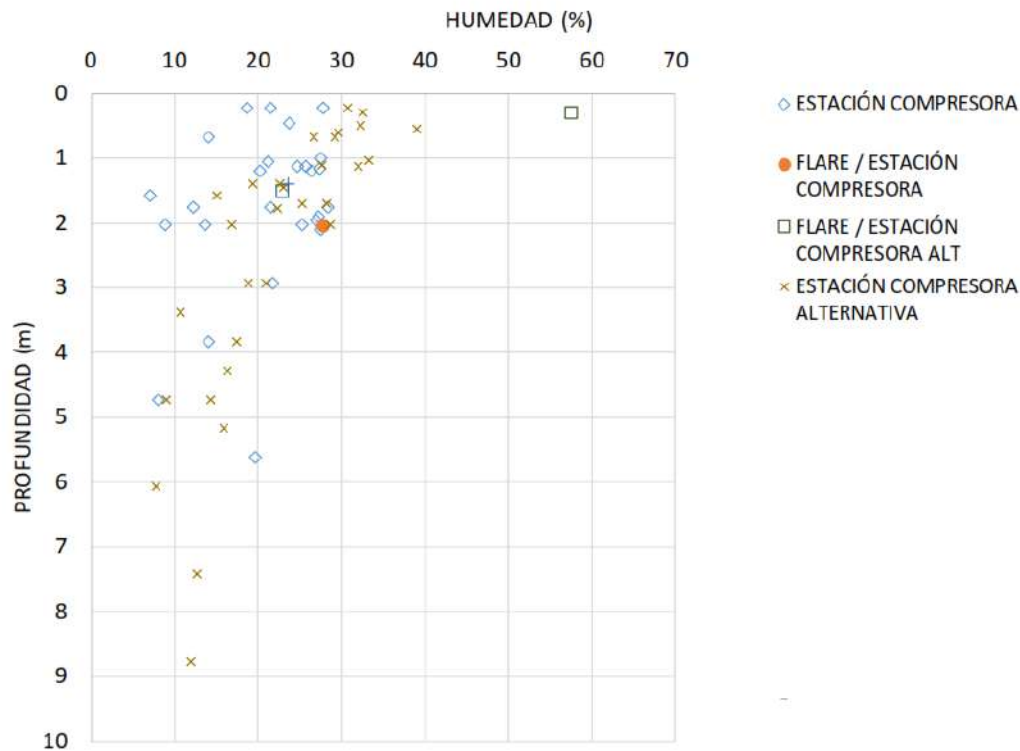
Tabla 65: Resultados laboratorio, ensayos de humedad natural, limite líquido, plástico, de consistencia y estado.

ZONA	ID	MUESTRA	DESDE	HASTA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD NATURAL (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	ESTADO APROXIMADO DEL SUELO
ESTACIÓN COMPRESORA	C1	2	1.2	2.3	1.75	21.52	29	15	14	0.53	Plástico blando
	C2	2	0.6	1.8	1.2	20.19	27	15	12	0.57	Plástico blando
	C3	2	0.8	1.5	1.15	27.42	37	23	14	0.68	Plástico blando
	C4	3	1.6	2.3	1.95	27.02	38	22	16	0.69	Plástico blando
	C5	1	0	0.9	0.45	23.76	N. L	N. P	N. P	-	-
	C6	2	1.2	3	2.1	27.54	35	22	13	0.57	plástico blando
	C7	2	0.8	1.2	1	27.56	35	23	12	0.62	plástico blando
	C8	2	0.7	1.4	1.05	21.23	N. L	N. P	13	-	-
	C9	2	0.6	1.8	1.2	26.35	N. L	N. P	14	-	-
	C10	3	1.6	2.2	1.9	27.23	42	23	15	0.98	Plástico duro
	C12	2	0.5	3	1.75	12.31	N. L	N. P	N. P	-	-
	C13	2	0.5	3	1.75	28.35	31	23	8	0.33	Plástico muy blando
	SPT-1	1	0	0.5	0.225	27.77	33	22	11	0.48	Plástico muy blando
	SPT-1	3	0.9	1.4	1.125	24.74	36	21	15	0.75	Plástico duro
	SPT-1	5	1.8	2.3	2.025	13.62	22	17	5	1.68	Solido
	SPT-2	1	0	0.5	0.225	21.45	29	20	9	0.84	Plástico duro
	SPT-2	3	0.9	1.4	1.125	25.69	35	22	13	0.72	Plástico blando
	SPT-2	5	1.8	2.3	2.025	25.34	40	22	18	0.81	Plástico duro
	SPT-2	7	2.7	3.2	2.925	21.71	31	19	12	0.77	Plástico duro
	SPT-2	9	3.6	4.1	3.825	14.05	22	14	8	0.99	Plástico duro
	SPT-2	11	4.5	5	4.725	8.1	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-2	13	5.4	5.9	5.625	19.68	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-3	1	0	0.5	0.225	18.65	27	19	8	1.04	Solido
	SPT-3	2	0.5	0.9	0.675	14.01	21	17	4	1.75	Solido
	SPT-3	4	1.4	1.8	1.575	7.11	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-3	5	1.8	2.3	2.025	8.84	N. L	N. P	N. P	-	-
FLARE	C11	2	1.3	2.8	2.050	27.77	24.00	11.00	13.00	-0.29	Liquido
FLARE / ALT	C25	1	0.0	0.6	0.300	57.46	46.00	33.00	13.00	-0.88	Liquido
ESTACIÓN COMPRESORA ALTERNATIVA	C26	2	0.8	1.3	1.025	33.2	43	27	16	0.61	Plástico blando
	C27	2	0.8	1.5	1.1	27.69	33	21	12	0.44	Plástico muy blando
	C28	2	1.6	2	1.775	22.29	24	16	8	0.21	Semilíquido
	C29	2	1.2	1.7	1.45	23.06	25	17	8	0.24	Semilíquido
	C30	2	1.4	2	1.7	28.18	30	20	10	0.18	Semilíquido
	C31	2	1.2	1.6	1.4	19.45	N. L	N. P	N. P	-	-
	C32	2	0.4	0.7	0.55	39.04	28	17	11	-1	Liquido
	C33	3	1.2	2.2	1.7	25.28	39	25	14	0.98	Plástico duro
	C34	1	0	0.6	0.3	32.59	47	27	20	0.72	Plástico blando
	C35	1	0	1.2	0.6	29.6	35	22	13	0.42	Plástico muy blando
	C36	2	1.2	1.6	1.4	22.58	26	18	8	0.43	Plástico muy blando
	C37	1	0	1	0.5	32.34	36	18	18	0.2	Semilíquido
	SPT-4	2	0.5	0.9	0.675	29.132	47	23	24	0.74	Plástico blando
	SPT-4	5	1.8	2.3	2.025	28.671	47	27	20	0.92	Plástico duro
	SPT-4	7	2.7	3.2	2.925	20.884	28	20	8	0.89	Plástico duro
	SPT-4	8	3.2	3.6	3.375	10.73	20	16	4	2.32	Solido
	SPT-4	11	4.5	5	4.725	9.062	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-5	1	0	0.5	0.225	30.767	25	13	12	-0.48	Liquido
	SPT-5	2	0.5	0.9	0.675	26.747	23	12	11	-0.34	Liquido
	SPT-5	3	0.9	1.4	1.125	31.984	24	11	13	-0.61	Liquido
	SPT-5	4	1.4	1.8	1.575	15.048	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-5	5	1.8	2.3	2.025	16.869	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-5	7	2.7	3.2	2.925	18.777	N. L	N. P	N. P	-	-
	SPT-5	9	3.6	4.1	3.825	17.401	N. L	N. P	N. P	-	-

Nota: Adaptado de plan de exploración geotecnia – Ingeciencia.

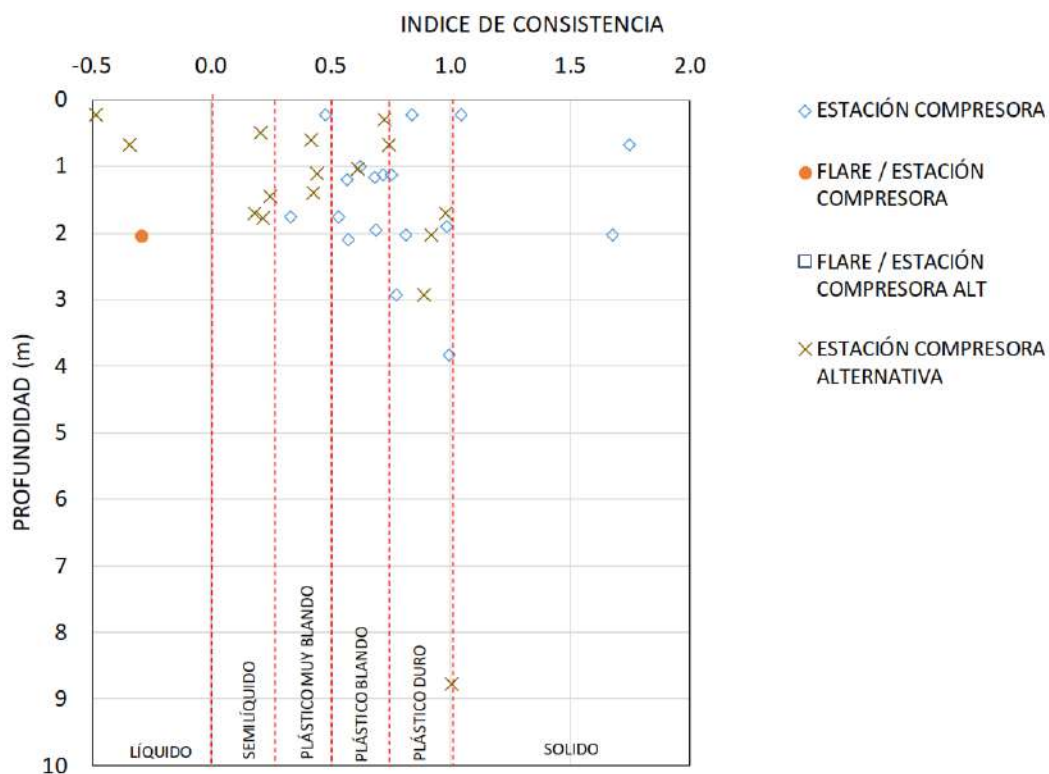


Figura 73: Variación de la humedad con la profundidad.



Nota: Adaptados de hojas de cálculos – Ingeciencia

Figura 74: Variación del índice de consistencia con la profundidad.



Nota: Adaptado de hojas de cálculo – Ingeciencia

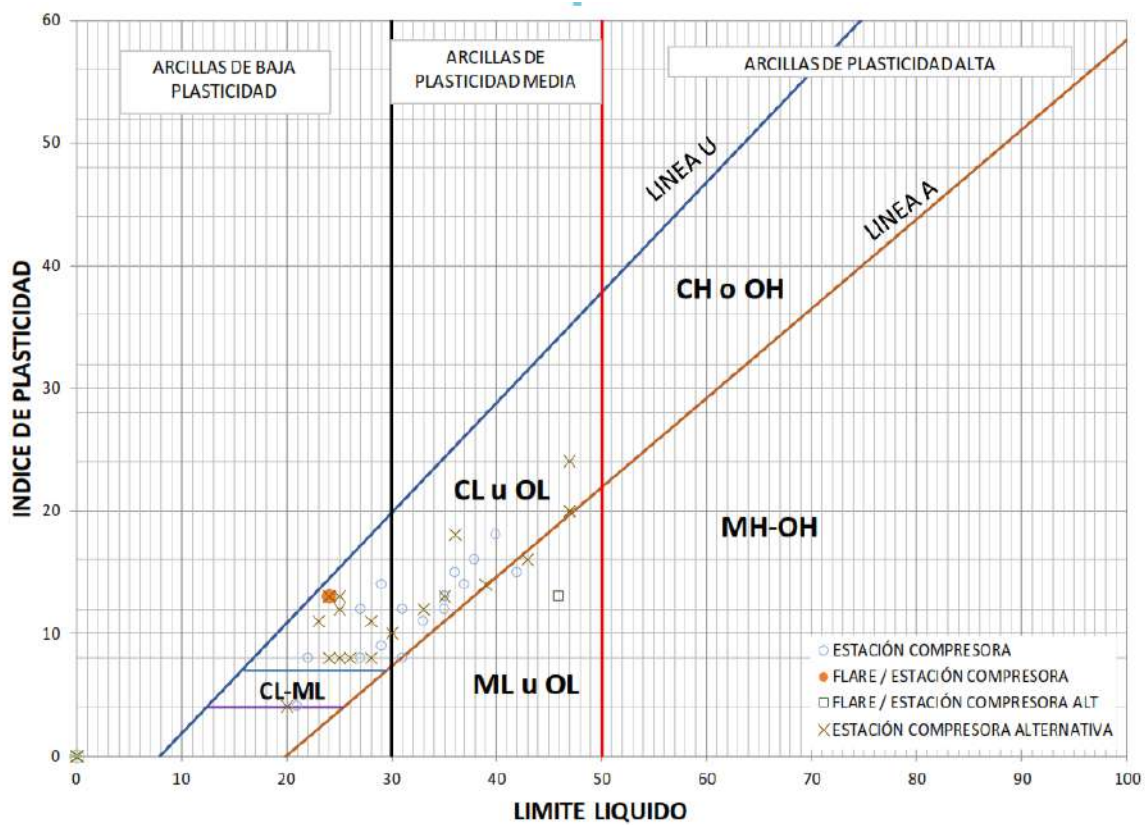


A partir de la información anterior se puede observar:

- Los valores de humedad oscilan entre 7.11% y 39.04% en la zona de estudio, con la excepción del flare en la estación compresora alternativa que registró un valor de 57.46%. La humedad tiende a disminuir con la profundidad; sin embargo, el contenido de agua en los materiales sigue siendo significativo.
- El 46.15% de las muestras se encuentra en un estado plástico, que varía de muy blando a duro. Estas muestras poseen valores de humedad superiores al límite plástico pero inferiores al límite líquido, lo que indica que cualquier aumento de esfuerzo puede causar deformaciones permanentes.
- El 19.23% de las muestras caracterizadas muestran un estado que va de líquido a semilíquido, sugiriendo que estos materiales son susceptibles a deformaciones plásticas permanentes.
- Únicamente el 7.69% de las muestras caracterizadas se encuentran en estado sólido. Estas muestras corresponden a materiales obtenidos en los ensayos de SPT. En la estación compresora, tienen una profundidad cercana a la superficie de 0.5 m en el SPT-3 y con profundidades superiores a 2 metros en el SPT-1. Por su parte, en la estación compresora alternativa, los materiales considerados en estado sólido se identificaron en el SPT-4 y SPT-5 con profundidades mayores a 3 m.

Al examinar la plasticidad de los suelos a través de la carta de plasticidad de Casagrande presentada en la Figura 72, se observa que los materiales en la zona de estudio son predominantemente arcillas de plasticidad media a baja.

Figura 75: Carta de plasticidad de los materiales muestreados.



Nota: Adaptados de hojas de cálculos – Ingeciencia

7.3.2. DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN.

Para obtener los niveles de compactación adecuados en rellenos contruidos con material proveniente de excavaciones en la zona de estudio, se requiere conocer la densidad máxima seca y la humedad óptima de compactación; por este motivo, se realizó el ensayo de Proctor modificado obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 66.

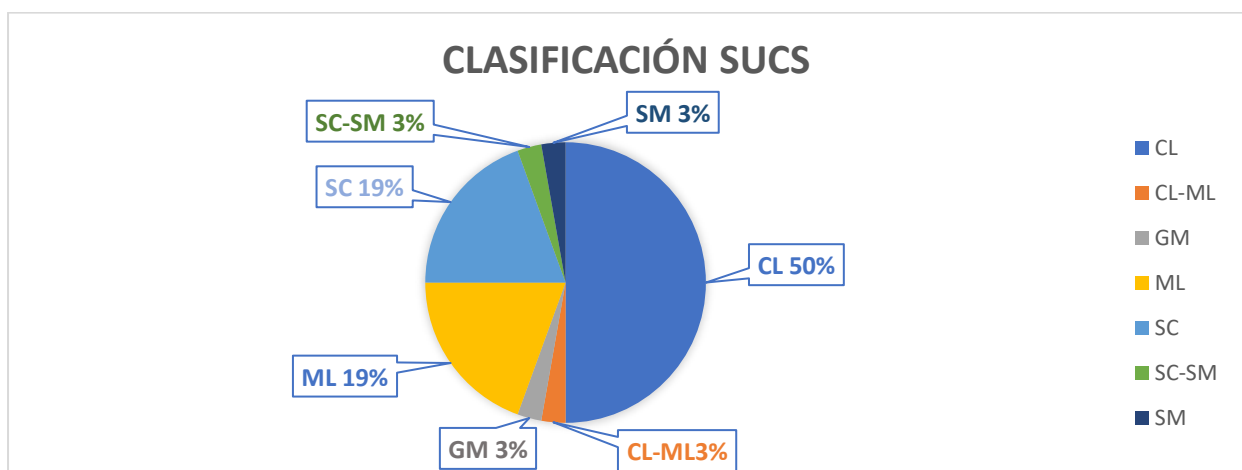
Tabla 66: Resultados ensayo de Proctor modificado.

AREA	ID	PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557	
		g máx. (Ton/m3)	w opt (%)
ESTACION COMPRESORA	C1	1.91	14.94
	C4	1.76	19.78
	C7	1.77	14.82
FLARE / ESTACION COMPRESORA	C11	1.72	20.44

7.3.3. CLASIFICACION DE LOS MATERIALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la clasificación se usó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System) y la clasificación mediante el sistema AASTHO. En la zona de estudio se encontró predominancia de material arcilloso de baja plasticidad (CL) en un 50 % de todo el terreno. En la ilustración 64 se presenta la distribución porcentual de los tipos de suelo (SUCS).

Figura 76: Carta de plasticidad de los materiales muestreados.



En conclusión, se tiene suelos arcillo – limosos que predominan en un 50%, este tipo de suelo requiere mejorar las características del material para ser usado como relleno en las obras de geotecnia proyectadas, esto se puede lograr con el uso de una mezcla con cemento hidráulico en una proporción de 40 partes de suelo por 1 parte de cemento como mínimo. La mezcla requiere del manejo de una humedad óptima establecida por los resultados del ensayo de Proctor y en caso de que se requiera, con una densidad del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo. En el caso de utilizar equipos manuales de compactación se puede aceptar un nivel de compactación del 90% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado de acuerdo con el Artículo 3.2.1. Terraplén del Manual MTC de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos.



Adicionalmente, en el caso de utilizar equipos manuales de compactación se deberá realizar ensayos de Proctor Estándar y se deberá entregar por parte del constructor los informes de control de compactación por cada capa ejecutada.

7.3.4. COMPRESIÓN INCONFINADA

Para determinar las propiedades de resistencia de los materiales, se realizaron ensayos de compresión Inconfinada sobre muestras inalteradas extraídas de las cuatro (4) calicatas ejecutadas en el sitio de estudio. En la Tabla 50, se presentan los resultados de los ensayos de compresión Inconfinada.

Tabla 67:Resultados ensayos compresión Inconfinada (Fuente: Ingeciencia, 2023).

AREA	ID	PROFUNDIDAD MEDIDA (m)	qu (km/cm2)	ESTADO DE LA MUESTRA
ESTACION COMPRESORA	C1	2.95	0.110	INALTERADO
	C3	1.95	0.030	INALTERADO
	C13	2.25	0.113	INALTERADO
	C15	1.6	0.069	INALTERADO

7.3.5. COMPRESIÓN TRIAXIAL.

Para determinar las propiedades de resistencia mecánica de los materiales se realizaron ensayos de compresión triaxial no consolidado no drenado (UU) sobre cuatro (4) muestras inalteradas obtenidas de las calicatas realizadas. En la Tabla 5

1, se presentan los resultados de los ensayos de compresión triaxial, tomando los resultados de la línea de estado crítico.



Tabla 68: Resultados ensayos compresión triaxial.

AREA	ID	N° muestra	Profund. (m)	Estado	Compresión Triaxial		USCS
					Cu (Kpa)	ϕ (°)	
ESTACION COMPRESORA FLARE /	C1	2	1.75	INALTERADA	20.9	28.53	CL
ESTACION COMPRESORA ALT	C25	1	0.3	INALTERADA	21.17	18.46	ML
ESTACION COMPRESORA ALTERNATIVA	C26	2	1.025	INALTERADA	21.21	19.63	ML
	SPT-05	14	6.075	INALTERADA	0.22	32.45	GP - GM

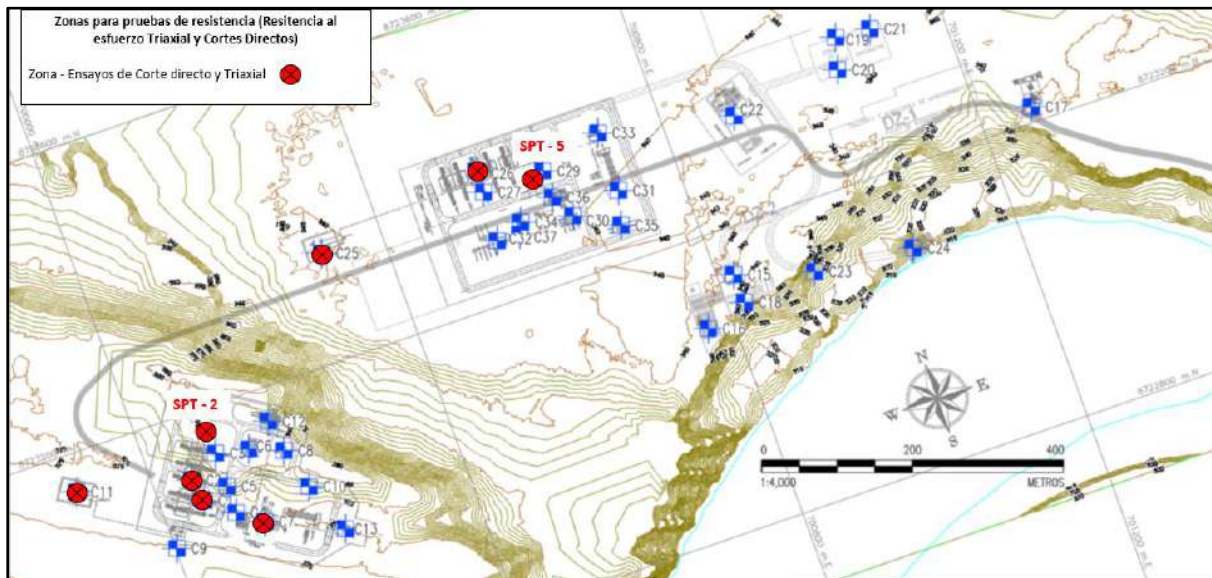
7.3.6. CORTE DIRECTO

Se llevaron a cabo doce (12) pruebas de corte directo en las muestras obtenidas para determinar los parámetros de los materiales presentes. Estas pruebas se realizaron conforme a las directrices de la norma ASTM D3080. Los detalles de los resultados de dichos ensayos se encuentran en la Tabla 52.

Tabla 69: Resultados ensayos corte directo.

AREA	ID	N° muestra	Profundidad (m)	Estado	γ (kN/m3)	Corte Directo		USCS
						Cu (Kpa)	Φ (°)	
ESTACION COMPRESORA	C2	2	1.2	INALTERADA	19.6	27.96	26.12	CL- ML
	C7	2	1	INALTERADA	17.9	11.9	23.7	CL-ML
	SPT-2	5	2.025	INALTERADA	15.1	14.65	28.7	CL
	SPT-2	9	3.825	INALTERADA	17.9	15.73	33	GC
	SPT-2	11	4.725	INALTERADA	-	3.93	34.17	GC
FLARE / ESTACION COMPRESORA	C11	2	1.3	INALTERADA	18.1	9.85	25.56	CL
FLARE /ESTACION COMPRESORA ALT	C25	1	0.3	INALTERADA	17.3	21.17	18.46	ML
ESTACION COMPRESORA ALTERNATIVA	C26	2	1.025	INALTERADA	18.3	21.21	19.63	CL-ML
	C31	2	1.4	INALTERADA	18.1	9.66	26.74	SM
	SPT-4	5	2.025	INALTERADA	16.9	11.57	8.28	CL
	SPT-4	8	3.375	INALTERADA	23.7	0	38.18	GM
	SPT-4	11	4.725	INALTERADA	-	0	46.93	GP

Figura 77: Zona para pruebas de resistencia (Resistencia al esfuerzo triaxial y corte directo)



7.3.7. CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.

Los suelos al someterse a nuevas cargas impuestas por obras nuevas, tienden a presentar deformaciones que pueden afectar la estabilidad de las estructuras, en el caso de no ser tenidas en cuenta durante su diseño (cambios en las condiciones de esfuerzos del suelo generan asentamientos). Para determinar este comportamiento, se realizaron ensayos de consolidación unidimensional sobre seis (6) muestras inalteradas obtenida de las calicatas ejecutadas. En la Tabla 70, se presentan los resultados de los ensayos de consolidación.

Tabla 70: Resultados ensayos de consolidación unidimensional.

AREA	CALICATA	Muestra	Profundidad	PARAMETROS DE CONSOLIDACION				
				Pc (Kg/cm ²)	e ₀	G _s	C _c	C _s
ESTACION COMPRESORA	C2	2	1.2	1.77	0.282	2.38	0.059	0.012
	C7	2	1	1.06	0.359	2.28	0.171	0.018
FLARE/ESTACION COMPRESORA	C11	2	2.05	0.89	1.134	2.91	0.29	0.022
FLARE/ESTACION COMPRESORA ALT	C25	1	0.3	1.32	1.969	3.103	0.497	0.076
ESTACION COMPRESORA ALTERNATIVA	C26	2	1.025	1.225	1.173	2.957	0.254	0.04
	C31	2	1.4	1.14	0.586	2.531	0.108	0.01



7.3.9. DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA

El ensayo de densidad máxima y mínima establece las compacidades límite de suelos. Estos valores son cruciales en construcción para determinar la densidad relativa, evaluar la susceptibilidad a licuefacción, guiar el control de calidad en obras de compactación, y asistir en el diseño geotécnico. Además, proporciona información sobre el comportamiento mecánico y la selección adecuada de materiales. Los resultados son presentados en la Tabla 71.

Tabla 71: Resultados ensayos de densidad máxima y mínima del suelo

AREA	CALICATA	Muestra	Densidad Mínima	Densidad Máxima
			(gr/cm3)	gr/cm3
ESTACION COMPRESORA	C03	2	1.142	1.417
	C06	2	1.053	1.314
	C07	2	1.014	1.252
	C10	3	1.041	1.392
	C13	2	1.076	1.372
FLARE/ESTACION COMPRESORA ALT	C25	1	1.097	1.360
ESTACION COMPRESORA ALTERNATIVA	C26	2	1.129	1.389
	C27	2	1.184	1.498
	C31	2	1.17	1.458
	C32	2	1.063	1.354
	C33	3	1.055	1.294
	C37	1	0.968	1.227

7.4. DISEÑO DE CIMENTACION SUPERFICIAL

7.4.1. PERFIL DEL SUELO

Según las exploraciones manuales realizadas en la zona donde se proyecta emplazar la Planta Compresora Mipaya Stand Alone, el perfil del diseño está definido como:

Tabla 72: Perfil de diseño a partir de los resultados de los ensayos SPT - campo.

AREA	ID	LOCALIZACIÓN	OBSERVACIONES	Nivel Freático (m)
ESTACIÓN COMPRESORA	CL - ML	Espesores de 1.8 a 4 metros de profundidad desde superficie	Conformado por material arcilloso limoso a limoso, baja plasticidad.	Solo se observó nivel freático en la calicata



ESTACIÓN COMPRESORA ALTERNATIVA	SM	A partir de 3 hasta 2 metros de espesor	Conformado por material arcilloso limoso a areno limoso, muy baja plasticidad. Se evidencian gravas polimigítica subangulosas <2".	A 2.8 m de profundidad
	GM	A partir de 5 metros de profundidad	Conformado por gravas subangulosas a subredondeadas <2", envueltas en una matriz arenosa a arenosa de grano medio a grueso	
	CL – ML	Espesores de 1.8 a 3 metros de profundidad desde superficie	Conformado por arcillas a arcilla limosa, baja plasticidad, color marrón claro.	El nivel freático promedio está a 2.8 m de profundidad.
	SM	A partir de 2 metros de profundidad con 2 metros de espesor	Conformado por arena limosa a limos arenosos, baja a muy baja plasticidad, gris plomizo.	
	GM	A partir de 3 metros de profundidad hasta 5 metros de espesor	Conformado por grava subredondeada a subangulosa, en matriz arenosa a areno limoso, gris plomizo, muy baja a nula plasticidad.	
				más superficial en la calicata 25 a 0.6 m de profundidad.

7.4.2. PARAMETROS MECANICOS PARA MATERIALES

El resumen de los parámetros asignados a cada uno de los materiales identificados en la zona de interés, se presenta en la Tabla 73.

Tabla 73: Resumen parámetros mecánicos para materiales.

AREA	ID	PROFUNDIDAD (m)	γ (kN/m ³)	CORTE DIRECTO				USCS
				Cu (Kpa)	CRITICO	Φ (°)	CRITICO	
ESTACION COMPRESORA	C2	1.2	19.6	27.96		26.12		CL
	C7	1	17.9	11.9	11.9	23.7	23.7	CL
	SPT-2	2.025	15.1	14.65		28.7		CL
	C1	1.75	20.42	20.9		28.53		CL
FLARE / ESTACION COMPRESORA	C11	1.3	18.1	9.85		25.56		CL
FLARE /ESTACION COMPRESORA ALT	C25	0.3	17.3	21.17		18.46		ML



ESTACION	C26	1.025	18.3	21.21	19.63	CL-ML
COMPRESORA	C31	1.4	18.1	9.66	26.74	SM
ALTERNATIVA	SPT-4	2.025	16.9	11.57	8.28	CL-SM

Nota: γ : Peso unitario. C' : Cohesión efectiva. Φ : Ángulo de fricción Interna.

7.5. ANALISIS DE LA CIMENTACION

Para el cálculo de capacidad portante se empleó la metodología de Meyerhof (1973), la cual es indicada en la norma E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES en el artículo 20. Esta metodología, nos analiza factores de carga, forma profundidad e inclinación.

Para obtener la capacidad portante admisible, se empleó un factor de seguridad de 3,0 conforme al artículo 21 (Cimentaciones superficiales) de la norma E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES.

$$Q_{adm} = (1/F_s) * (c * N_c * S_c * d_c) + (\gamma * D_f * N_q * S_q * d_q) + (1/2 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma)$$

- **Q_{adm}**: Capacidad de carga admisible del suelo.
- **F_s**: Factor de seguridad (adimensional).
- **c**: Cohesión del suelo (kPa o kN/m²).
- **N_a (N_c, N_q, N_γ)**: Factores de capacidad de carga, dependen del ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo.
- **S_a (S_c, S_q, S_γ)**: Factores de forma, en función de la geometría de la cimentación.
- **d_a (d_c, d_q, d_γ)**: Factores de profundidad, según la profundidad de cimentación.
- **γ**: Peso unitario del suelo (kN/m³).
- **D_f (D_f)**: Profundidad de cimentación (m).
- **B**: Ancho de la cimentación (m)

El asentamiento total permitido se determina en 2.54cm (25.4mm). Para el caso en que se recomienden zapatas, el asentamiento calculado se asumirá como el diferencial entre estructuras adyacentes; lo anterior, con el fin de incluir el análisis por distorsión angular especificado en el artículo 19.2 de la E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES. El espaciamiento considerado es sólo a manera de recomendación, entendiendo que su valor final debe



corresponder a un diseño estructural detallado, que no hace parte del alcance del presente informe de tesis.

7.5.1. CIMENTACION SUPERFICIAL

7.5.1.1. CAPACIDAD PORTANTE

En la Tabla 75 se presentan los valores obtenidos de capacidad portante para diferentes dimensionamientos como son (Zapatas corridas, Cuadradas, rectangulares y plateas) de los cuales se evalúa las que mejor capacidad admisible presentan.

El valor de la capacidad admisible se validará en el desarrollo del Asentamiento de Cimentación superficial, teniendo en cuenta el valor de asentamiento máximo permitido de 25.4 mm (1”).

Tabla 74: Parámetros y propiedades de mecánica en zona de estación compresora.

PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO			PREDIMENCIONAMIENTO	
Cohesion C (Kg/cm ²)		0.121	CIMIENTO CORRIDO	
Angulo de friccion (°)		23.70	Lado B (m) :	1.50
Peso unitario (gr/cm ³)		1.83	ZAPATA CUADRADA	
Factor de seguridad Fs		3.0	Lado B (m) :	1.50
Tipo de falla		General	ZAPATA RECTANGULAR	
Coeficiente de empuje activo	Ka	0.427	Ancho B (m) :	1.50
Coeficiente de empuje pasivo	Kp	2.344	Lado L (m) :	3.00
Coeficiente de empuje en reposo	Ko	0.598	PLATEA DE CIMENTACION	
$\phi' =$	23.70		Ancho B (m) :	10.00
$c' =$	0.12		Lado L (m) :	15.00
Nivel Freático (N.F.) (m)			Df. Prof. Min.(m)	
P. U. Saturado (Tn/m ³)			1.00	



Tabla 75: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora primaria.

Calculo del esfuerzo admisible para diferentes tipos de cimentacion				
$q_{adm} = (1/F_s) * (c * N_c * S_c * d_c) + (\gamma * D_f * N_q * S_q * d_q) + (1/2 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma)$				
Altura de Cimentacion	CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION
B (m)	B (m)	B (m) = 1.50	B (m) = 10.00	
L (m)	L (m) = 15.00	L (m) = 3.00	L (m) = 15.00	
Df (m)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)
1.00	0.97	1.19	1.07	2.42
1.20	1.10	1.35	1.21	2.55
1.40	1.23	1.50	1.35	2.68
1.60	1.36	1.66	1.49	2.82
1.80	1.49	1.81	1.63	2.95
2.00	1.61	1.97	1.77	3.08
2.20	1.74	2.12	1.91	3.22
2.40	1.87	2.28	2.05	3.35
2.60	2.00	2.43	2.19	3.48
2.80	2.13	2.58	2.33	3.62
3.00	2.25	2.74	2.47	3.75
S _{max} =	S _{max} =	S _{max} =	S _{max} =	S _{max} =
1.99 cm	3.55 cm	2.63 cm	0.91 cm	

Tabla 76: Parámetros y propiedades mecánicas en zona de estación compresora alternativa.

PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO		PREDIMENCIONAMIENTO	
Cohesion C (Kg/cm2)	0.216	CIMIENTO CORRIDO	
Angulo de friccion (°)	19.63	Lado B (m) :	1.50
Peso unitario (gr/cm3)	1.87	ZAPATA CUADRADA	
Factor de seguridad Fs	3.0	Lado B (m) :	1.50
Tipo de falla	General	ZAPATA RECTANGULAR	
Coeficiente de empuje activo Ka	0.497	Ancho B (m) :	1.50
Coeficiente de empuje pasivo Kp	2.012	Lado L (m) :	3.00
Coeficiente de empuje en reposo Ko	0.664	PLATEA DE CIMENTACION	
$\phi' =$	19.63	Ancho B (m) :	10.00
$c' =$	0.22	Lado L (m) :	15.00
Nivel Freático (N.F.) (m)		Df. Prof. Min.(m)	
P. U. Saturado (Tn/m3)		1.00	



Tabla 77: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora alternativa.

Calculo del esfuerzo admisible para diferentes tipos de cimentacion				
$q_{adm} = (1/F_s) * (c * N_c * S_c * d_c) + (\gamma * D_f * N_q * S_q * d_q) + (1/2 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma)$				
Altura de	CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION
B (m)	B (m)	B (m) = 1.50	B (m) = 10.00	
Cimentacion	1.50	1.50	L (m) = 3.00	L (m) = 15.00
Df (m)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)
1.00	0.70	0.84	0.76	1.53
1.20	0.78	0.94	0.86	1.62
1.40	0.87	1.05	0.95	1.71
1.60	0.96	1.15	1.04	1.80
1.80	1.04	1.25	1.13	1.89
2.00	1.13	1.35	1.23	1.98
2.20	1.21	1.45	1.32	2.07
2.40	1.30	1.55	1.41	2.15
2.60	1.38	1.65	1.50	2.24
2.80	1.47	1.75	1.60	2.33
3.00	1.56	1.85	1.69	2.42
CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION	
S _{max} =	1.37 cm	S _{max} = 2.41 cm	S _{max} = 1.80 cm	S _{max} = 0.59 cm

Tabla 78: Parámetros mecánicos en zona de estación compresora - Flare

PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO			PREDIMENSIONAMIENTO	
Cohesion C (Kg/cm2)		0.101	CIMIENTO CORRIDO	
Angulo de friccion (°)		25.56	Lado B (m) :	1.50
Peso unitario (gr/cm3)		1.85	ZAPATA CUADRADA	
Factor de seguridad Fs		3.0	Lado B (m) :	1.50
Tipo de falla		General	ZAPATA RECTANGULAR	
Coeficiente de empuje activo Ka		0.397	Ancho B (m) :	1.50
Coeficiente de empuje pasivo Kp		2.518	Lado L (m) :	3.00
Coeficiente de empuje en reposo Ko		0.569	PLATEA DE CIMENTACION	
φ ' =	25.56		Ancho B (m) :	10.00
c' =	0.10		Lado L (m) :	15.00
Nivel Freático (N.F.) (m)			Df. Prof. Min.(m)	
P. U. Saturado (Tn/m3)			1.00	



Tabla 79: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora primaria – Flare.

Calculo del esfuerzo admisible para diferentes tipos de cimentacion				
$q_{adm} = (1/F_s) * (c * N_c * S_c * d_c) + (\gamma * D_f * N_q * S_q * d_q) + (1/2 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma)$				
Altura de	CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION
B (m)	B (m)	B (m)	B (m) = 1.50	B (m) = 10.00
Cimentacion	1.50	1.50	L (m) = 3.00	L (m) = 15.00
Df (m)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)
1.00	1.20	1.49	1.33	3.17
1.20	1.36	1.68	1.51	3.34
1.40	1.52	1.88	1.68	3.50
1.60	1.68	2.07	1.85	3.67
1.80	1.84	2.26	2.03	3.83
2.00	2.00	2.46	2.20	4.00
2.20	2.15	2.65	2.37	4.17
2.40	2.31	2.84	2.55	4.33
2.60	2.47	3.04	2.72	4.50
2.80	2.63	3.23	2.90	4.66
3.00	2.79	3.42	3.07	4.83
CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION	
S _{max} =	2.45 cm	S _{max} = 4.44 cm	S _{max} = 3.27 cm	S _{max} = 1.18 cm

Tabla 80: Parámetros mecánicos en zona de estación compresora alternativa – Flare.

PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO		PREDIMENCIONAMIENTO	
Cohesion C (Kg/cm2)	0.216	CIMIENTO CORRIDO	
Angulo de friccion (°)	21.46	Lado B (m) :	1.50
Peso unitario (gr/cm3)	1.76	ZAPATA CUADRADA	
Factor de seguridad Fs	3.0	Lado B (m) :	1.50
Tipo de falla	General	ZAPATA RECTANGULAR	
Coefficiente de empuje activo Ka	0.464	Ancho B (m) :	1.50
Coefficiente de empuje pasivo Kp	2.154	Lado L (m) :	3.00
Coefficiente de empuje en reposo Ko	0.634	PLATEA DE CIMENTACION	
φ' =	21.46	Ancho B (m) :	10.00
c' =	0.22	Lado L (m) :	15.00
Nivel Freático (N.F.) (m)		Df. Prof. Min.(m)	
P. U. Saturado (Tn/m3)		1.00	



Tabla 81: Calculo del Qadm para tipos de cimentaciones en estación compresora alternativa-flare.

Calculo del esfuerzo admisible para diferentes tipos de cimentacion				
$q_{adm} = (1/F_s) * (c * N_c * S_c * d_c) + (\gamma * D_f * N_q * S_q * d_q) + (1/2 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma)$				
Altura de Cimentacion	CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION
	B (m)	B(m)	B(m) = 1.50	B(m) = 10.00
	1.50	1.50	L(m) = 3.00	L(m) = 15.00
Df (m)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)	qadm (Kg/Cm2)
1.00	0.78	0.96	0.86	1.70
1.20	0.88	1.08	0.97	1.80
1.40	0.98	1.19	1.07	1.90
1.60	1.08	1.31	1.18	2.01
1.80	1.17	1.42	1.29	2.11
2.00	1.27	1.54	1.39	2.21
2.20	1.37	1.66	1.50	2.31
2.40	1.47	1.77	1.60	2.41
2.60	1.56	1.89	1.71	2.51
2.80	1.66	2.00	1.81	2.61
3.00	1.76	2.12	1.92	2.71
	CIMIENTO CORRIDO	ZAPATA CUADRADA	ZAPATA RECTANGULAR	PLATEA DE CIMENTACION
S _{max} =	1.55 cm	S _{max} = 2.75 cm	S _{max} = 2.05 cm	S _{max} = 0.66 cm

No se produce asentamiento en los tipos de cimentaciones de tipo Plateas, el cual sería la estructura correcta a cimentar. Corresponden a una profundidad de desplante de 2.00 m, con un Qadm mínimo de 1.98 Kg/cm² y un máximo 4.00 kg/cm².

7.5.2. PROFUNDIDAD DE CIMENTACION

Revisando las condiciones de los materiales en la zona de interés y los cálculos realizados por el método de Meyerhor. Para la cimentación de zapatas, se recomienda una profundidad Df mínimo de 2.00 m, profundidades mayores a esta deberán seguir un cálculo diferente.

7.5.3. ASENTAMIENTO DE CIMENTACION SUPERFICIAL

El cálculo de asentamientos para cimientos superficiales se llevó a cabo teniendo en cuenta una profundidad de desplante de 2.00.m para la estación compresora y sus respectivas instalaciones, Se trabajó con presiones de contacto variables, siempre garantizando que fuesen inferiores a la capacidad portante admisible. Este análisis, que se efectuó para cimientos de



distintas dimensiones, se detalla en las tablas mencionadas. El término 'esfuerzo de trabajo' se refiere a la carga admisible que se ejerce sobre la zapata, a menudo denominada carga de trabajo. Es esencial destacar que, con esta carga el suelo de cimentación no excede el asentamiento máximo permitido para el proyecto, establecido en 25.4 mm (1”).

7.6. ANALISIS DE PARÁMETROS DINÁMICOS PARA DISEÑO - CIMIENTO

El análisis de cimentaciones superficiales afectados por cargas dinámicas como son para un compresor de gas (equipos reciprocantes), requiere una caracterización detallada de los parámetros dinámicos del suelo para evitar problemas de resonancia y minimizar la transitividad de vibraciones al suelo en el sistema cimentación - estructura. Estos parámetros son recomendados su análisis según la norma internacional ACI-351-3R-04 la cual regula el diseño de cimientos para equipos dinámicos.

Las propiedades estáticas nos proporcionan una base para los análisis dinámicos, el análisis de Modulo de elasticidad (E) nos presenta la rigidez del suelo bajo cargas estáticas (ASTM D1194-94), la relación de Poisson (ν) nos representa la deformación en direcciones perpendiculares ante una carga uniaxial, depende del tipo de suelo y su saturación, La densidad del suelo o peso unitario es esencial ante en comportamiento dinámico (ASTM D7263-21).

Las propiedades dinámicas evaluadas son esenciales para saber la respuesta del suelo a cargas dinámicas, como es el módulo de cortante (G) y el coeficiente de amortiguamiento.

Relación de Poisson (ν): Relación que nos determina como se deforma el material cuando es sometidas a vibraciones, esfuerzos cíclicos y movimientos laterales generados por acción de los compresores de gas, para el presente caso al no tener los datos suficientes de la geofísica como la relación entre la velocidad de onda primaria V_p y secundario o cortante



Vs, nos basamos en lineamientos que nos determina el ACI 351.35.04 y según parámetros empíricos propuestos por Bowles (1997).

Tabla 82: Tabla de relación de Poisson (u) según Bowles (1997).

Material	Relación de Poisson (u)
Arcilla saturada	0.40 - 0.50
Arcilla no saturada	0.10 - 0.30
Limos	0.30 - 0.35
Rocas	0.10 - 0.40
Concreto	0.15

Tabla 83: Tabla de relación de Poisson (u) según ACI 351.35.04

Material	Relación de Poisson (u)
Suelo no cohesivo	0.25 - 0.35
Suelo cohesivo	0.35 - 0.45

7.6.1. AMORTIGUAMIENTO DEL SUELO:

Como la medida de la capacidad de disipar la energía vibratoria ante las deformaciones generadas por dinámica externa, se utiliza valores que oscila entre 5% a 10% valores críticos, El amortiguamiento del suelo lo definimos como la relación entre el amortiguamiento real (C_i) y el amortiguamiento crítico del suelo (C_{ci}), se usa la siguiente relación definido por Stewart y Campanella (1993).

$$C_i = \frac{C_i}{C_{ci}} * 100 \%$$

Al no tener datos de pruebas de columna resonante o sísmica correcta. Se presenta valores típicos analizados por Stewart y Campanella (1993).



Tabla 84: Parámetros estándares de amortiguamiento según Stewart y Campenella (1993).

Tipo de suelo	Stewart & C.	Otros
Arcilla	1.00 a 5.00	1.7 a 7
Limo		2.5
Aluviales		3.5 a 12
Arena	0.50 a 2.00	1.7 a 6

7.6.2. FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL SUELO (Fo):

Asociado a las vibraciones del suelo, nos determina si el sistema suelo – cimentación puede entrar en resonancia cuando esta es alterada por la frecuencia de operación de la máquina. Definida como la propagación de la onda cortante y 4 veces es espesor de la capa de suelo predominante (Kramer, S. L 1996).

$$F_o = \frac{V_s}{4 * H} , und: Hz$$

Donde: Vs: velocidad de la onda cortante (m/s)

H: Espesor de la capa de suelo predominante (m).

7.6.3. MODULO DINÁMICO CORTANTE (G)

Determinada como la pendiente de la curva esfuerzo deformación, Al inicio cuando las deformaciones unitarias son pequeñas la rigidez dinámica es elevada, cuando el equipo dinámico compresor de gas inicia su funcionamiento genera deformaciones unitarias que son transmitidas al suelo y estas empieza a bajar su rigidez. Se define como la siguiente formula en función del peso unitario del suelo y velocidad de onda cortante (Kramer, S.L 1996).

$$G_{max} = \rho * V_s^2 , Mpa$$

ρ : Peso unitario o densidad del suelo (gr/cm³).

Vs: Velocidad de onda cortante (m/s²)



Se usa dicha formula ya que cuando se realiza las pruebas geofísicas están inducen deformaciones por corte inferiores a 0.0003%, por tal motivo se estima el G_{max} a partir de expresiones de velocidad de corte (V_s) y densidad del material (ρ).

7.6.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (E_d):

Definida como una extensión del módulo elástico estático, tomando encuentra esfuerzos cíclicos y vibratorios generados por maquinas compresoras en nuestro caso, expresada en una relación de módulo de corte dinámica (G_d) y razón de poisson dinámico (ν), (Kramer, S.L 1996).

$$E_d = 2 * G_d (1 + \nu) , \text{ Mpa}$$

Donde:

- G_d : Modulo de corte dinámico (Mpa o gr/cm^3).
- ν : Razón de poisson dinámico.

7.6.5. PARÁMETROS DINÁMICOS EN PERFILES

Tabla 85: Parámetros dinámicos en Perfil A – A”

Velocidad de ondas cortante V_s (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm^3)	Frecuencia fundamental F_0 (Hz)	Modulo cortante dinámico G_d (Kg/cm^2)	Módulo de poisson (ν)	Módulo de elasticidad dinámica E_d (Kg/cm^2)	Correlación son sondeos directos
335.16	1.9	1.64	1.63	44.10	1.871	0.35	5.05	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
349.71	2.15	3.54	1.63	40.66	2.037	0.35	5.50	Limos, arcillas y gravas en matriz arenosa a limosa
393.89	2.4	5.69	1.63	41.03	2.584	0.25	6.46	Material no cohesivo (gravas y arenas)



Tabla 86: Parámetros dinámicos en Perfil B – B”

Velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico Gd (Kg/cm2)	Módulo de poisson (v)	Módulo de elasticidad dinámica Ed (Kg/cm2)	Correlación son sondeos directos
399.4	1.32	1.14	1.75	75.64	2.847	0.35	7.69	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
400.29	1.49	2.46	1.75	67.16	2.859	0.35	7.72	Material no cohesivo (gravas y arenas)
397.14	1.67	3.95	1.75	59.45	2.815	0.25	7.04	
389.08	1.85	5.62	1.75	52.58	2.701	0.25	6.75	

Tabla 87: Parámetros dinámicos en Perfil C – C”.

Velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico Gd (Kg/cm2)	Módulo de poisson (v)	Módulo de elasticidad dinámica Ed (Kg/cm2)	Correlación son sondeos directos
266.77	1.73	1.5	1.74	38.55	1.260	0.35	3.40	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
274.47	1.96	3.23	1.74	35.01	1.334	0.35	3.60	
302.08	2.19	5.19	1.74	34.48	1.615	0.250	4.04	
318.7	2.42	7.38	1.74	32.92	1.798	0.250	4.50	

Tabla 88: Parámetros dinámicos en Perfil D – D”.

Velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico Gd (Kg/cm2)	Módulo de poisson (v)	Módulo de elasticidad dinámica Ed (Kg/cm2)	Correlación son sondeos directos
289.62	1.48	1.29	1.65	48.92	1.411	0.35	3.81	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas con gravas intercaladas)
303.92	1.68	2.77	1.65	45.23	1.554	0.35	4.20	
340.64	1.88	4.45	1.65	45.30	1.952	0.250	4.88	Material no cohesivo (gravas en matriz limo arenosa)
368.56	2.08	6.33	1.65	44.30	2.285	0.250	5.71	



Tabla 89: Parámetros dinámicos en Perfil E – E”.

Velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico Gd (Kg/cm2)	Módulo de poisson (v)	Módulo de elasticidad dinámica Ed (Kg/cm2)	Correlación son sondeos directos
335.91	1.81	1.57	1.72	46.40	1.979	0.35	5.34	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
348.06	2.05	3.38	1.72	42.45	2.125	0.35	5.74	Material no cohesivo (gravas o gravas en matriz arenosa)
357.46	2.3	5.44	1.72	38.85	2.241	0.250	5.60	
363.43	2.54	7.74	1.72	35.77	2.317	0.250	5.79	

Tabla 90: Parámetros dinámicos en Perfil F – F”.

Velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico Gd (Kg/cm2)	Módulo de poisson (v)	Módulo de elasticidad dinámica Ed (Kg/cm2)	Correlación son sondeos directos
312.48	1.48	1.29	1.81	52.78	1.802	0.35	4.87	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
305.98	1.68	2.77	1.81	45.53	1.728	0.35	4.67	Material no cohesivo (Arenas limosas)
286.75	1.88	4.45	1.81	38.13	1.518	0.250	3.79	
290.98	2.08	6.33	1.81	34.97	1.563	0.250	3.91	

Tabla 91: Parámetros dinámicos en Perfil G – G”.

velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico (Gd) Kg/cm2	Módulo de poisson	Módulo de elasticidad dinámica (Ed) Kg/cm2	Correlación son sondeos directos
296.35	1.48	1.29	1.75	50.06	1.567	0.35	4.23	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
291.21	1.68	2.77	1.75	43.33	1.513	0.35	4.09	Material no cohesivo (Arenas limosas)
297.47	1.88	4.45	1.75	39.56	1.579	0.250	3.95	
306.17	2.08	6.33	1.75	36.80	1.673	0.250	4.18	



Tabla 92: Parámetros dinámicos en perfil H - H".

Velocidad de ondas cortante Vs (m/s)	Espesores máximos (m)	Profundidad (m)	Peso Unitario del suelo (Kg/cm3)	Frecuencia fundamental Fo (Hz)	Modulo cortante dinámico Gd (Kg/cm2)	Módulo de poisson (v)	Módulo de elasticidad dinámica Ed (Kg/cm2)	Correlación son sondeos directos
282.07	1.9	1.64	1.73	37.11	1.404	0.35	3.79	Suelos residuales (Limos, arcillas y arenas)
287.23	2.15	3.54	1.73	33.40	1.455	0.35	3.93	Material no cohesivo (Arenas limosas)
295.82	2.4	5.69	1.73	30.81	1.544	0.250	3.86	



CONCLUSIONES

1. Primero: Morfológicamente se identificó 5 sub unidades las cuales son: colinas estructurales, lomadas en roca sedimentaria, pie de monte coluvial – deluvial y terrazas aluviales, en su mayor extensión se tiene las terrazas aluviales. Esta clase de geomorfología de baja pendiente son ideales para emplazar estructuras como los cimientos de la planta compresora de gas.

2. Segundo: Geológicamente se encuentra las formaciones Ipururo y los depósitos cuaternarios Fluvio - aluviales y Aluviales, siendo estos depósitos cuaternarios los predominantes en la zona. La formación Ipururo litológicamente está conformada por secuencias pelíticas de Lodolitas y arenas rojizas y muchas veces como pequeños lentes dentro de las areniscas rojizas a grises, estos suelos y rocas blancas por el tiempo de sedimentación se presentan compactados y de rigidez más estables. Los depósitos fluvio aluviales y Aluviales en su mayoría están conformados por limos y arcillas con escasos clastos de gravas polimicticos estos depósitos sobreyacen la formación Ipururo, la baja cohesión de estos depósitos son ideales emplazar estructuras. Geodinamicamente la zona de estudio esta emplada en la Zona de 2 correnpendiente a la zonificacion sísmica del peru – IGP, teniendo registros sísmicos de tipo Intermedios y Superficiales. Dentro de las estructuras evaluadas se reconoce una falla inferida regionalmente con dirección de SE a NW, el cual no esta activa y no se encuentra evidencias cinemáticas en la zona de estudio.

3. Tercero: Hidrológicamente el promedio anual máximo de precipitación es de 1735.08 mm, en los meses más lluviosos, Las crecidas máximas evaluadas según la batimetría no son más de 5 metros, están llegarían a una cota lamina máxima de 320.20 msnm, las cual está por muy debajo de la cota de cimentación de la planta compresora de gas. Las socavaciones en las zonas de mayor esfuerzo cortante por el flujo del rio no son mayores a 0.97, esta sería una socavación baja considerando la topografía del lecho fluvial,



para reducir este fenómeno se plantean obras de defensas riverena y drenajes de plataformas.

. Cuarto: Indirectamente se infiere 3 estratos bien diferenciados, el primer estrato presenta resistividades entre 226 ohm.m a 506 ohm.m, se estima espesores de 0.52 m a 1.36 m, son arcillas, limos y materia orgánica, presenta velocidad de onda Vs (m/s) de 266 m/s a 355 m/s, en el segundo estrato presenta resistividades entre 506 ohm.m a 5945 ohm.m, con espesores de 1.5 m. a 3.87 m., de materiales no cohesivos (gravas, arenas y limos), con velocidad de onda Vs de 309 m/s a 360 m/s. El tercer estrato tiene resistividad de 30 ohm.m a 204 ohm.m, espesores de 2.30 m. a 4.40 m, arenas y gravas, con Vs de 340 m/s a 3118 m/s. Se infiere nivel freático a 2 metros en promedio.

5. Quinto: Geotécnicamente se determinó que la planta compresora de gas Mipaya Stand Alone se emplazara a una profundidad de 2.00 m como base, en esa profundidad se encuentran suelos de tipo GM (gravas en matrices limo arenosas). La cimentación corresponderá a una zapara de tipo platea, con dimensiones mínimas de 10 m x 15 m sus capacidades portantes aceptables son de 1.98 kg/cm² a 4.00 Kg/cm². donde no se presentan asentamientos.

6. Sexto: Se determina parámetros dinámicos del suelo para el diseño de cimientos como frecuencia fundamental (fo) de 30.81 Hz a 75.64 Hz a una profundidad máx. de 6.33 m. Modulo cortante dinámico (Gd) de 1.26 kg/cm² a 2.859 a kg/cm² a una profundidad máxima de 6.33 m. Relaciones de Poisson para cargas dinámicas para suelos arcillo limosos de 0.35 y para suelos no cohesivos (arenas limosas) de 0.25 y por ultimo Módulos de elasticidad dinámica (Ed) de 3.40 kg/cm² a 7.69 kg/cm² a un profundidad máx. de 6.33 m. Estos son los parámetros de diseño y los limites permisibles para la elaboración de cimientos de cargas dinámicas reciprocantes como compresores de gas. Siguen los lineamientos establecidos por la norma internacional de ACI 351.35.04.



RECOMENDACIONES

1. Primero: Se recomienda antes de iniciar actividades constructivas, realizar inspecciones previas para descartar zonas de erosión, remoción en masa y otros procesos geomorfológicos dinámicos que pudieran alterar la morfología original del estudio.
2. Segundo: Se recomienda realizar pruebas de GRD (georradar) para identificar estratos menores como lentes de materiales expansivos dentro de las intercalaciones de arenisca – lodolita de la formación Ipururo.
3. Tercero: En zonas de suelos no uniformes y de resistividad geotecnia baja, se recomienda mejoramientos de suelos con material de préstamo o combinaciones de suelo – cemento, ya sea en una proporción de 40S: 1C o según nuevo diseño.
4. Cuarto: La planta compresora al ser una estructura de alto riesgo y generador de vibraciones y fuerzas reciprocantes, se sugiere realizar cimentaciones dinámicas, que evalúen parámetros de amortiguamiento y módulos cortantes, propuestos en la tesis.
5. Quinto: Se recomienda realizar obras de contención en zonas de mayor esfuerzo cortante por efectos del agua y mayor velocidad de flujo, para evitar socavaciones que pongan en riesgo la integridad de la estructura.
6. Sexto: Se recomienda realizar los modelos de cimentación de cargas dinámicas y cálculos de impedancia mediante diferentes autores como Veletsos y Verbic para asegurar la estabilidad del sistema suelo – cimiento.



REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Barkan, D. (1996). *Dynamics of Bases and Foundations*. McGraw-Hill.
- Bowles, J. (1996). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill.
- Braja, M. (2013). *Fundamento de Ingenieria Geotecnica*. Mexico. Cengage Learning.
- Braja, M., Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Dirección Académica, Angulo, H. Vargas, J. Gallardo, E. (2017). *Manual para la elaboracion de plan de tesis y tesis universitaria*. Lima. Escuela Nacional de Jose Maria Arguedas.
- España, E. d. (2022). Código técnico de la edificación. España.
- European Committee for Standardization (CEN). (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules* (EN 1997-1).
- Gutierrez, I. Pechi, V. (1981). *Geologia de los Cuadrangulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas*. Lima. Instituto geologico minero y metalurgico.
- Gutiérrez, L. (2004). Guía teórica de geomorfología.
- Gobierno de la republica de Mexico (2015). *Servicio geologico mexicano*.
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157796/Que-es-la-Geofisica.pdf>
- Harrison, J. Hudson, A. (1997). *Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles" (Mecánica de Rocas en Ingeniería: Una Introducción a los Principios)*. Pargamon.
- Hidrogeologia y Pozos. (Noviembre 2017). *Hidrogeologia y Pozos*.
<http://hidrogeologiaypozos.blogspot.com/2017/11/>
- Ingeciencia. (2023). *Estudio de resistividad eléctrica para proyecto Mipaya Stand Alone*.
- Ingeciencia. (2023). *Estudio de hidrología proyecto Mipaya Stand Alone*.

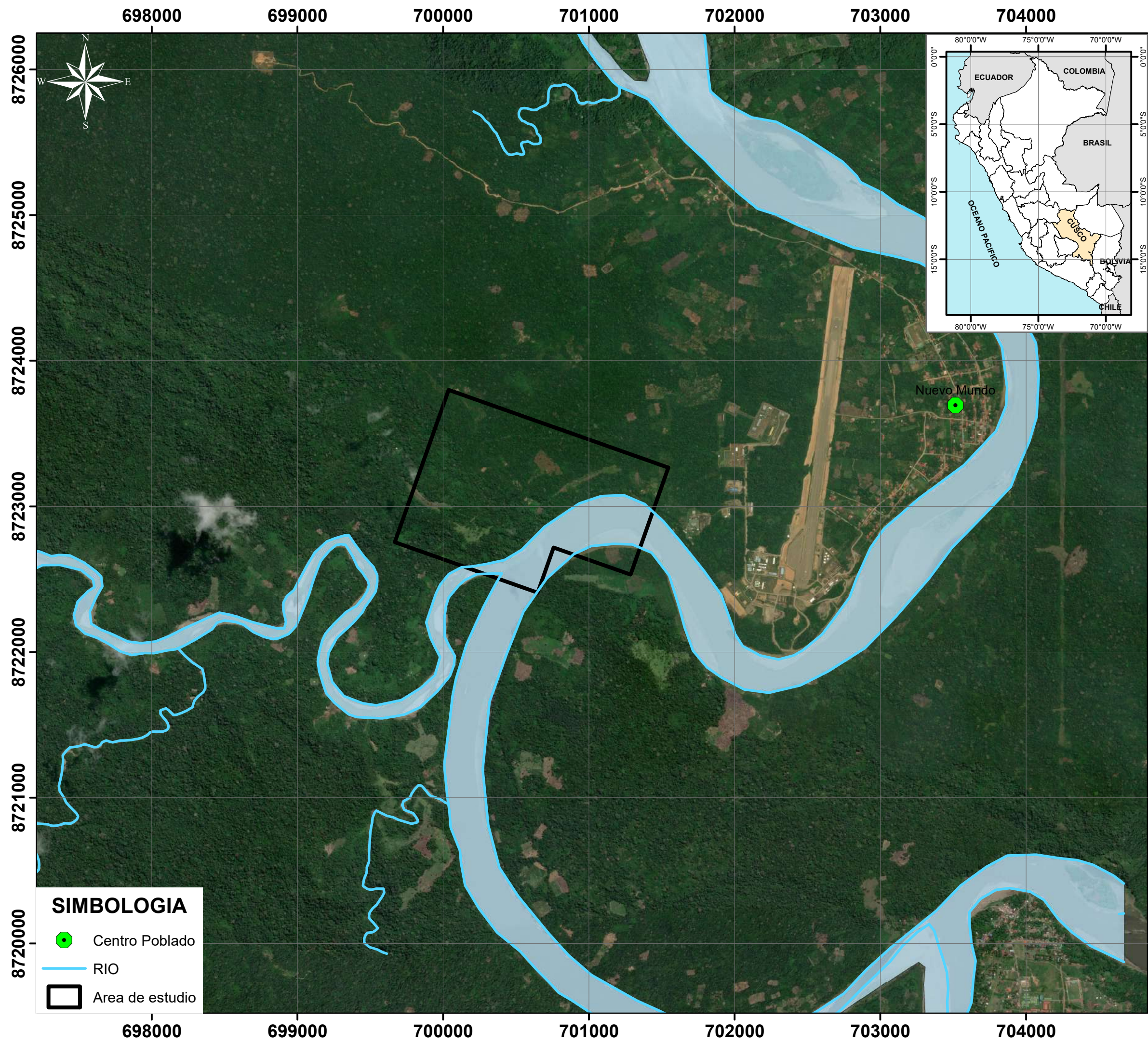


- Ingeciencia. (2023). *Estudio de suelos proyecto Mipaya Stand Alone*.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice-Hall.
- Pluspetrol. (2023). *Detalles del sistema de compresión de Mipaya, Lote 56*. Pluspetrol.
<https://www.rumbominero.com/peru/noticias/hidrocarburos/pluspetrol-instalara-equipos-de-compresion-para-extraer-gas-en-el-lote-56/>
- Ramirez, O. Monje, A. (2004). *Mecanica de Rocas: Fundamento e Ingenieria de Taludes*.
- Revista Ciencias de la Tierra. (2021). *Revista Ciencias de la Tierra*.
<https://revistacienciasdelatierra.com/articulos/geociencias/hidrogeologia-hidrologia/#:~:text=La%20hidrolog%C3%ADa%20es%20una%20rama,oc%C3%A9anos%2C%20atm%C3%B3sfera%20y%20superficie%20terrestre.>
- Richart, F. Hall, J. Woods, R. (1970). *Vibrations of soils and foundations*. Prentice-Hall.
- Salazar, E. (Junio 2016). *Estudio geologico de la region de Apurimac*. Abancay. ZEE de la Region Apurimac. Gobierno Regional de Apurimac.
- Vallejo, L. (2004). *Ingenieria geologica*. Madrid. Pearson Educacion S.A.
- Zarate, H. Galdoz, J. Geldres, M. (1998). *Geologia de los cuadrangulos de Sepahua 23-p, Miria 23-q, Union 23-r, Quirigueta 24-p, Camisea 24-q y Rio cashpajali 24-r*. Lima. Ingemmet.



ANEXOS

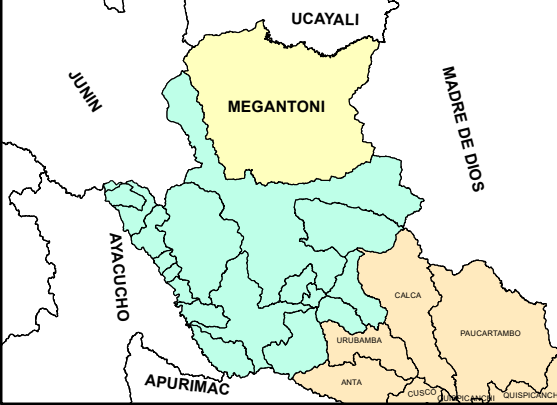
MAPA DE UBICACION



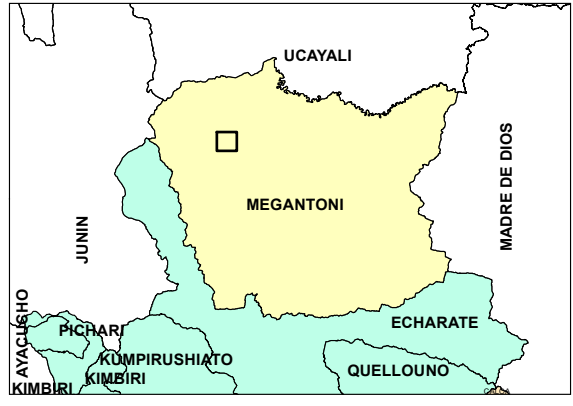
UBICACIÓN REGIONAL



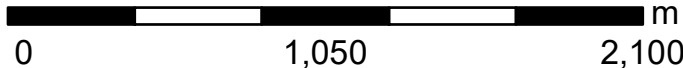
UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN DISTRITAL



1:25,000



SIMBOLOGIA

- Centro Poblado
- RIO
- Area de estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

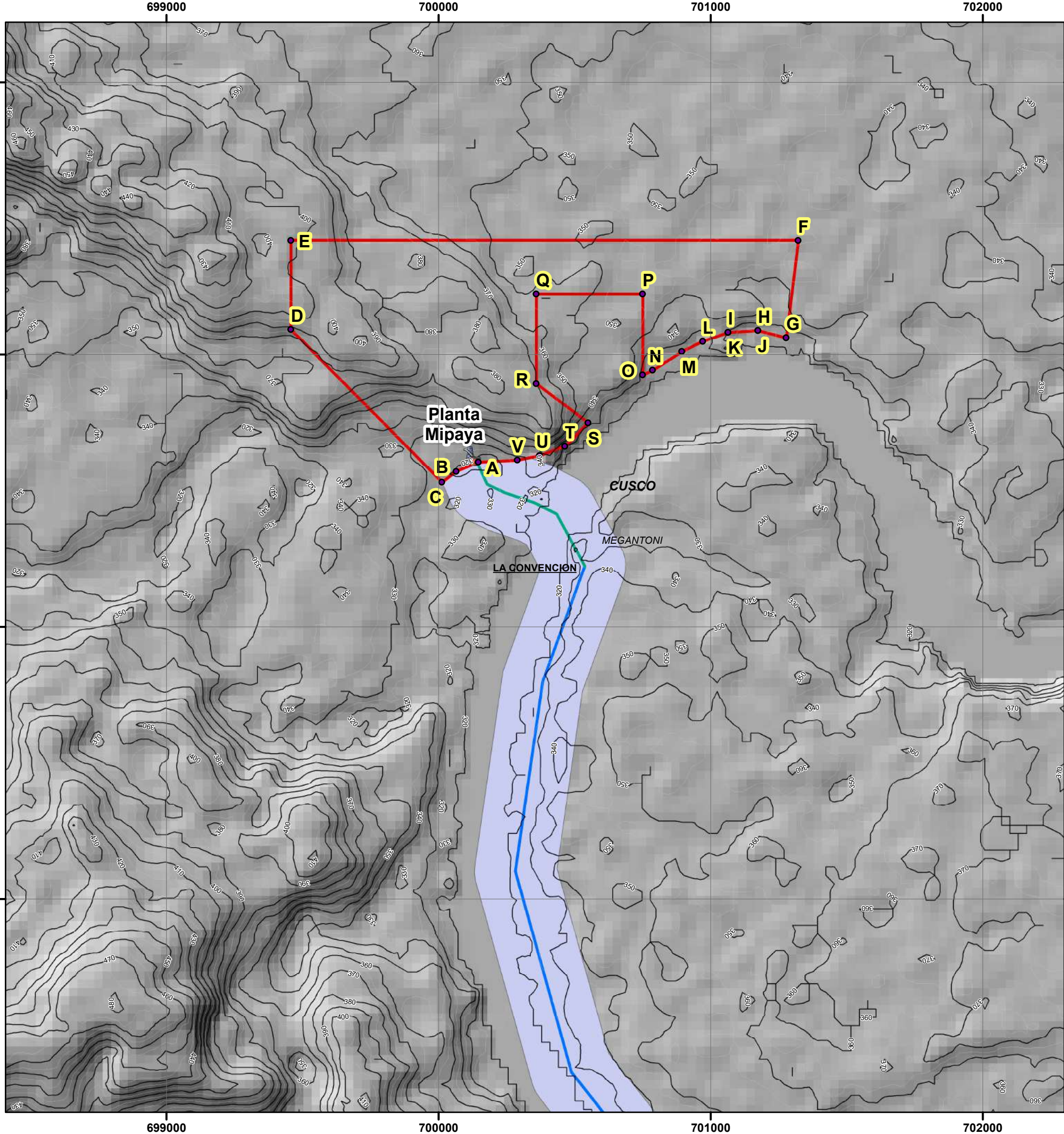
TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE –
NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN – CUSCO.

Nombre del Plano: MAPA DE UBICACION

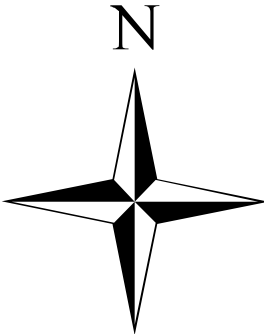
Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

Datum: WGS 84 Escala: 1:25,000 Fecha: Marzo, 2023

Mapa:
01



ACCESO Y UBICACION



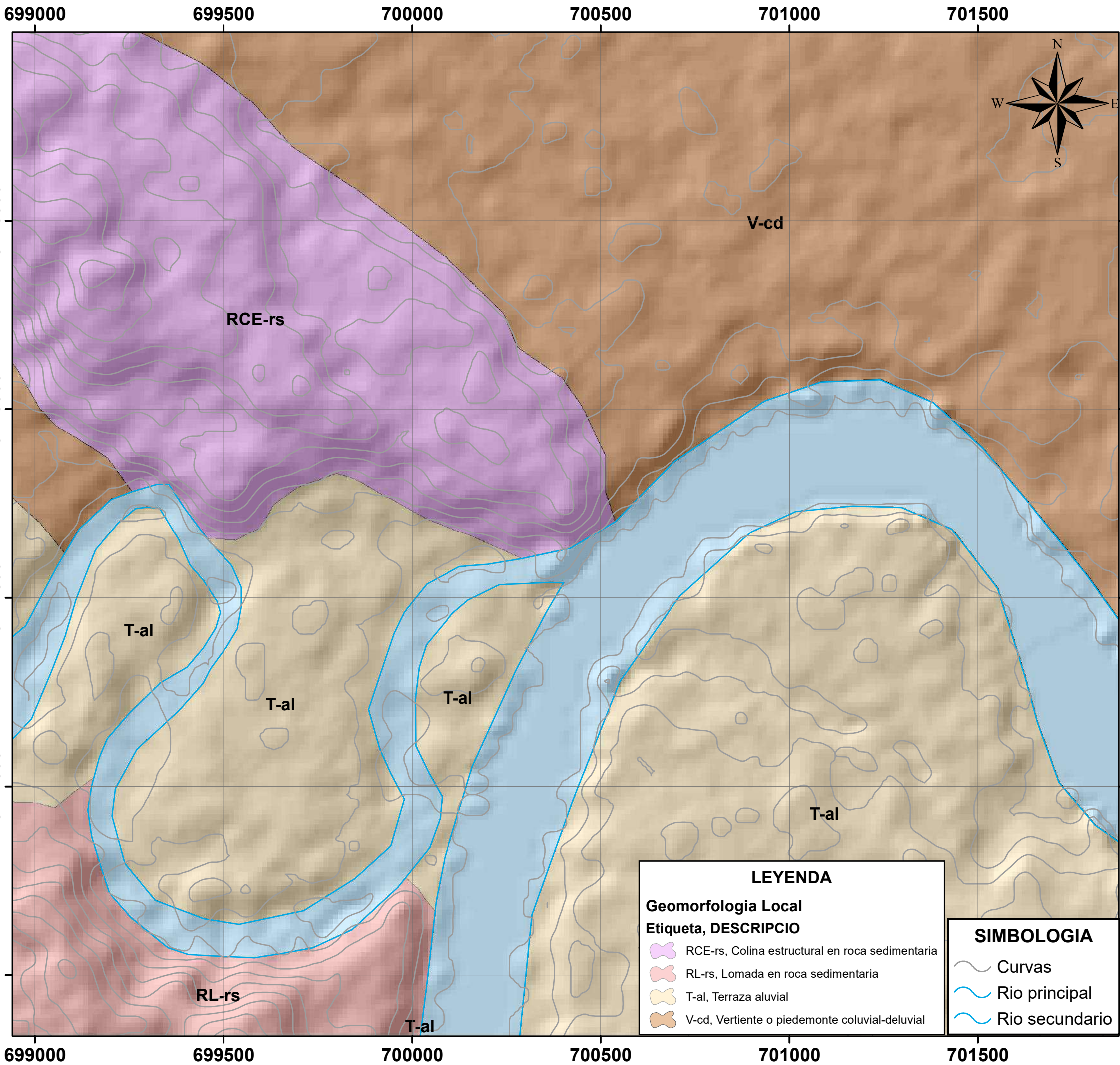
LEYENDA

- CURVAS PRIMARIAS
- CURVAS SECUNDARIAS
- RUTA
 - Río
 - Aerea
 - Tierra
 - Area en Estudio



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO: UBICACION Y ACCESO		
UBICACIÓN: Pais: Departamento: Provincia:	REVISADO POR:	ESCALA: 1:15000
Peru Cusco La Convencion	ELABORADO POR: - Jose Luis Quispe Mayhua - Jimmy Gabriel Tijera Ccorimanya	FECHA: Noviembre 2023
SISTEMAS DE COORDENADAS: WGS 1984 - UTM ZONA 18 Sur		Mapa: 02
FUENTE: SAS PLANET, GOOGLE MAPS		

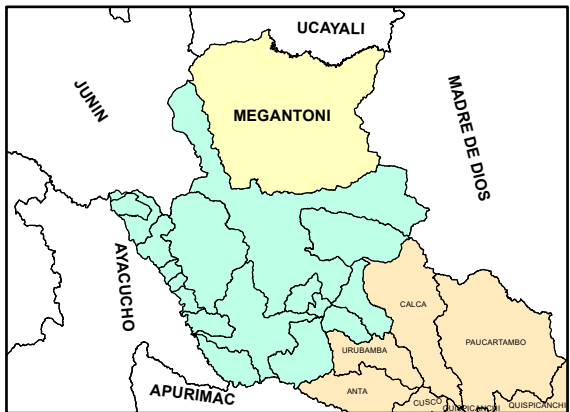
MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL



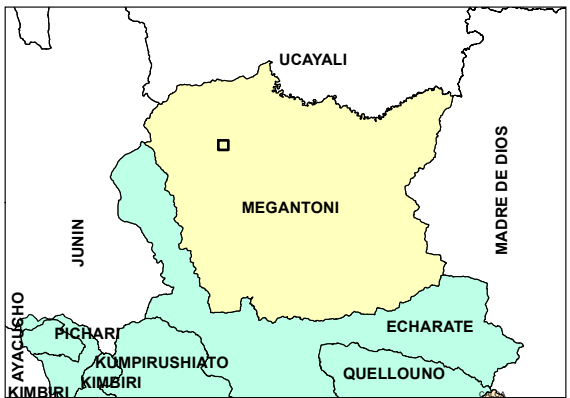
UBICACIÓN REGIONAL



UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN DISTRITAL



LEYENDA

Geomorfología Local

Etiqueta, DESCRIPCIÓN

- RCE-rs, Colina estructural en roca sedimentaria
- RL-rs, Lomada en roca sedimentaria
- T-al, Terraza aluvial
- V-cd, Vertiente o piedemonte coluvial-deluvial

SIMBOLOGIA

- Curvas
- Rio principal
- Rio secundario

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE - NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

Nombre del Plano: **MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL**

Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

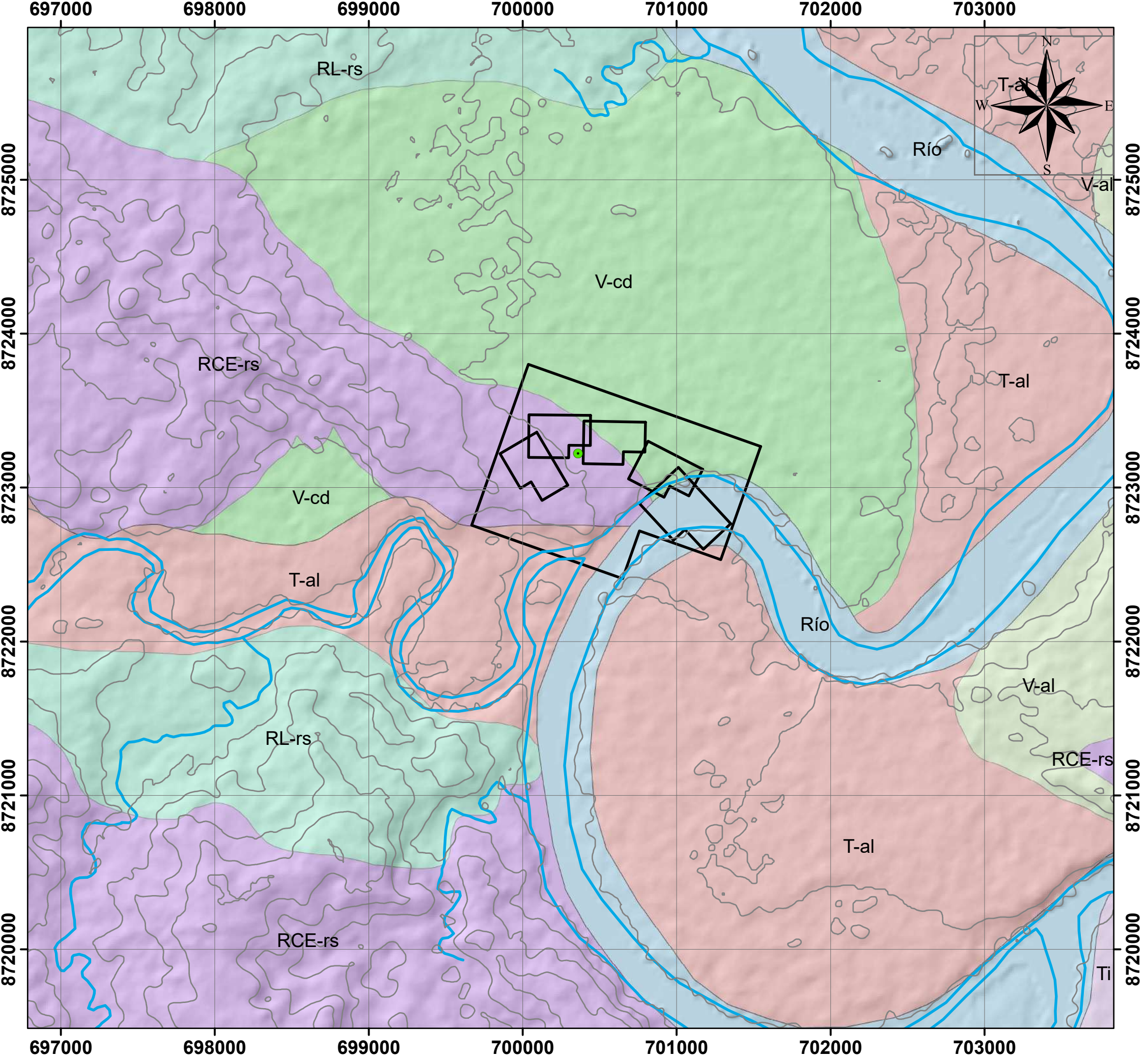
Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 18 S

Escala: 1:25,000

Fecha: Marzo, 2023

Mapa:
03

MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL



LEYENDA

UNIDADES GEOMORGOLÓGICAS

- RCE-rs, Colina estructural en roca sedimentaria
- RL-rs, Lomada en roca sedimentaria
- Río, Cauce del río
- T-al, Terraza aluvial
- Ti, Terraza indiferenciada
- V-al, Vertiente o piedemonte aluvial
- V-cd, Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial

SIMBOLOGIA

- PUNTO_UBICACION
- curvas_30
- RIO
- Area de estudio
- AREA_REG

1:25,000

0 1,050 2,100 m

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE - NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

Nombre del Plano: **MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL**

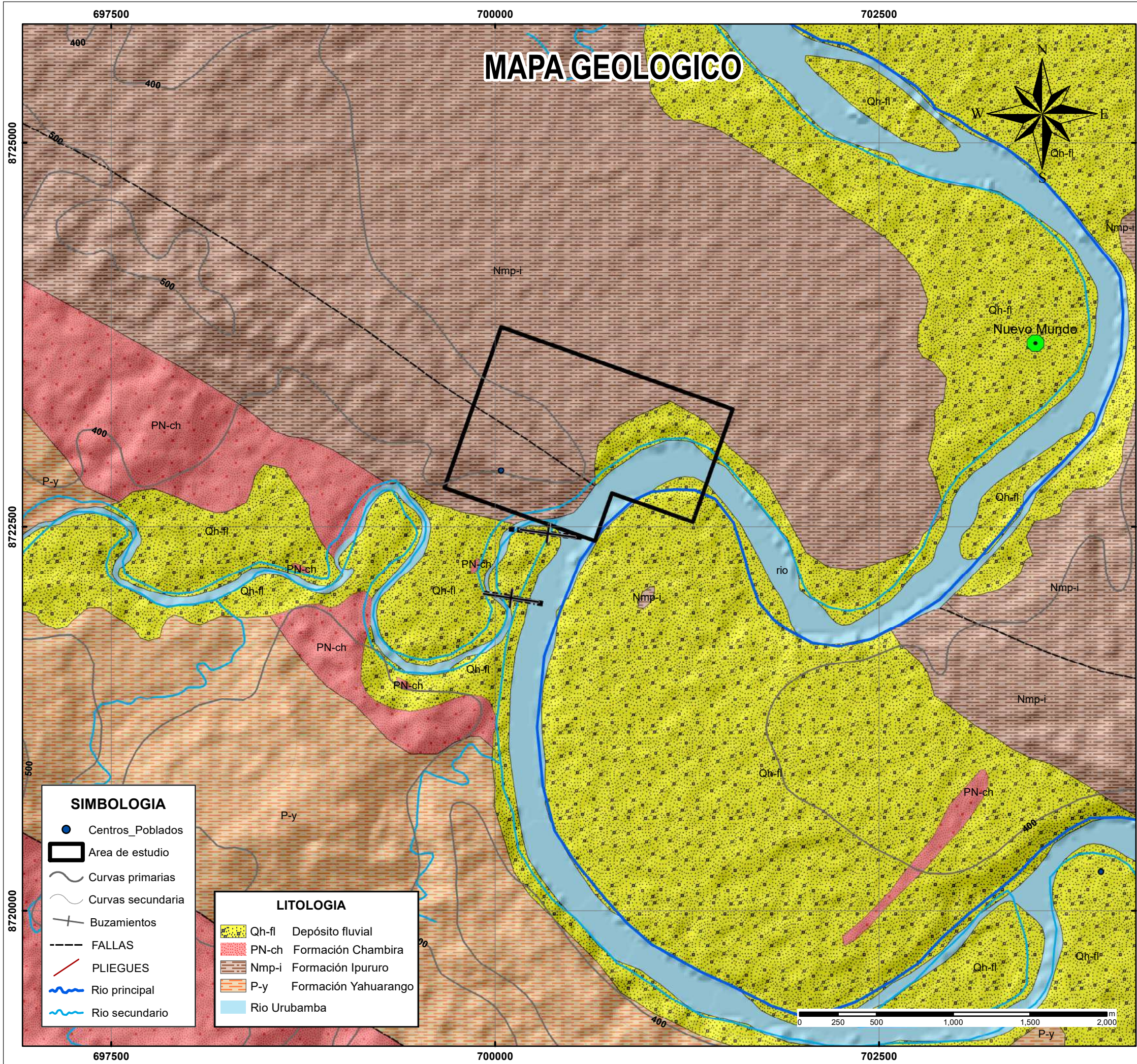
Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 18 S

Escala: 1:25,000

Fecha: Marzo, 2023

Mapa: **04**



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE - NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCION - CUSCO.

Nombre del Plano: MAPA GEOLOGICO LOCAL

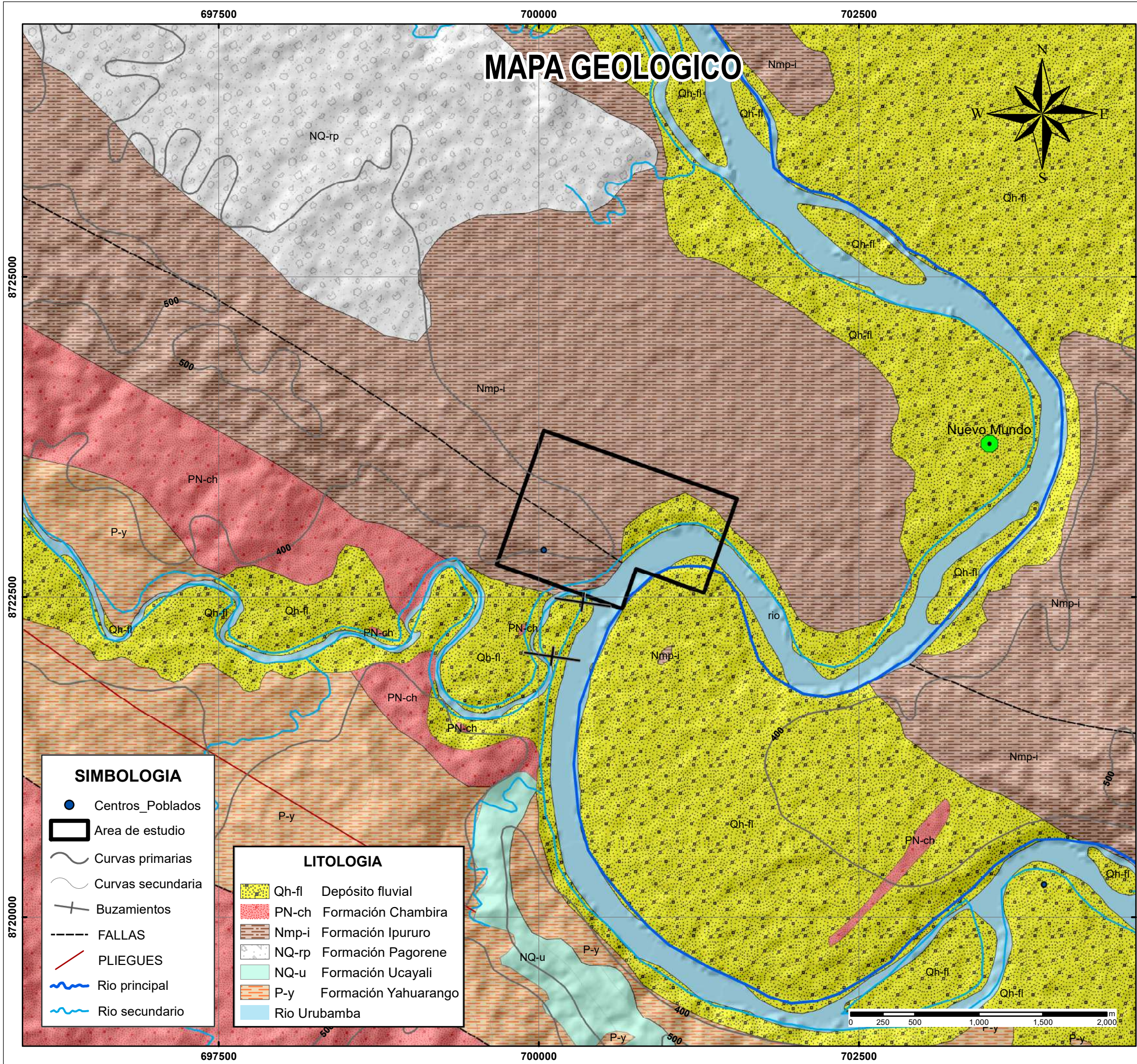
Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSE LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 18 S

Escala: 1:25,000

Fecha: Agosto, 2024

Mapa: 05



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:

ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE – NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN – CUSCO.

Nombre del Plano: **MAPA GEOLOGICO**

Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

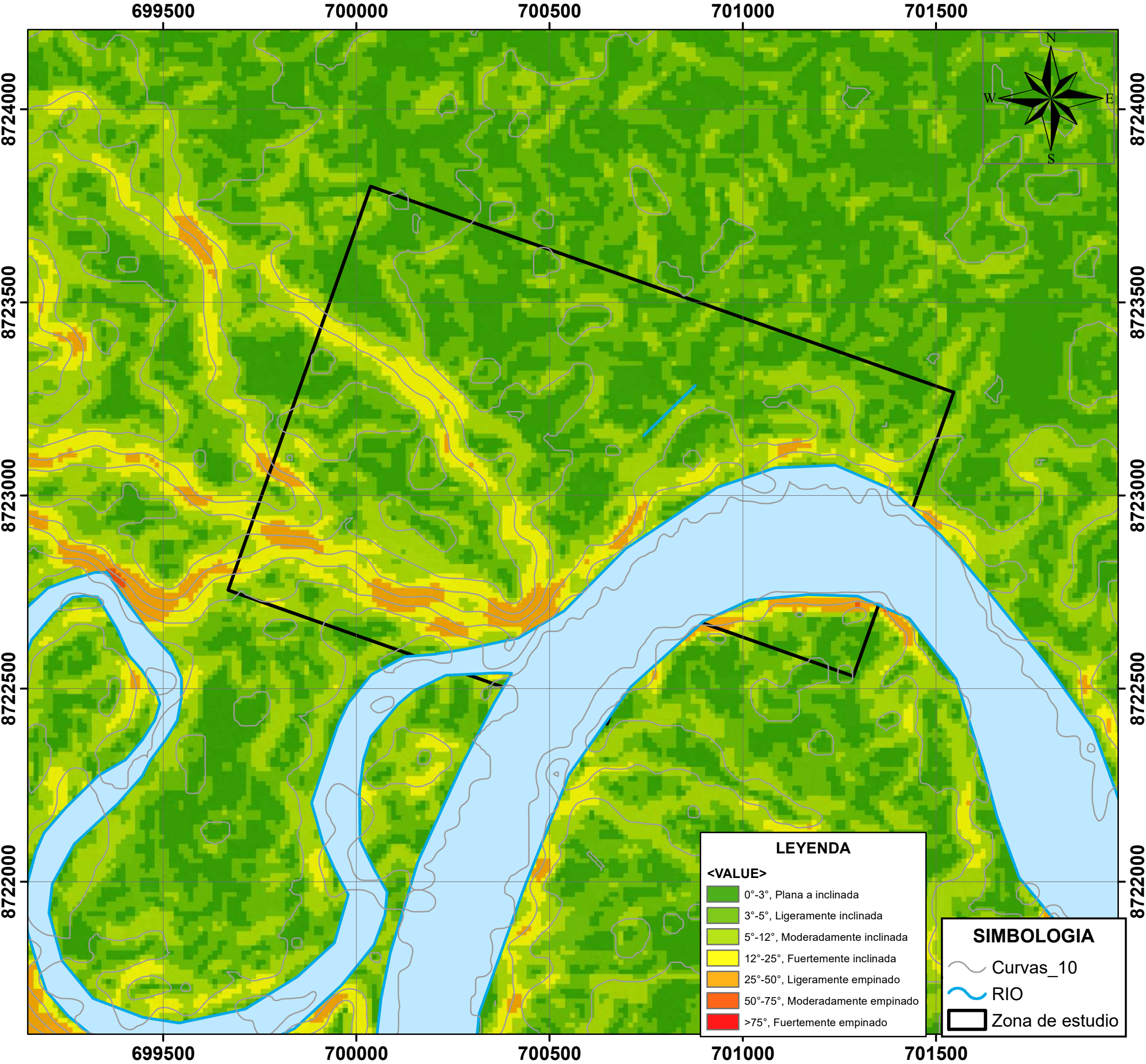
Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 18 S

Escala: 1:29,982.52

Fecha: Agosto, 2024

Mapa: **06**

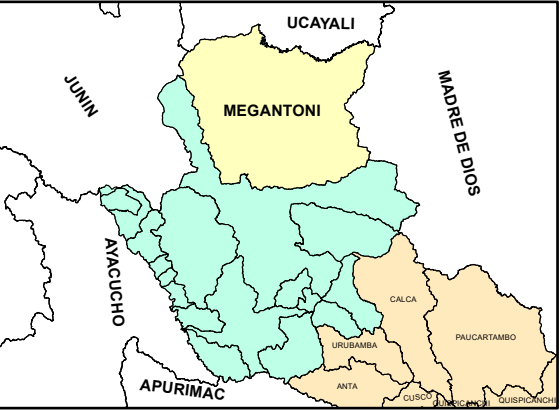
MAPA DE PENDIENTES LOCAL



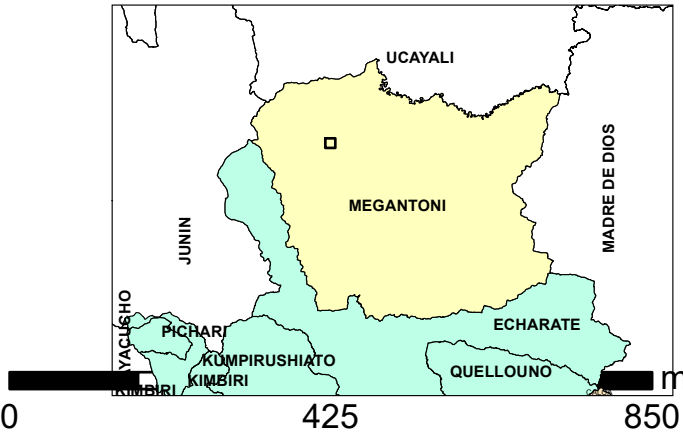
UBICACIÓN REGIONAL



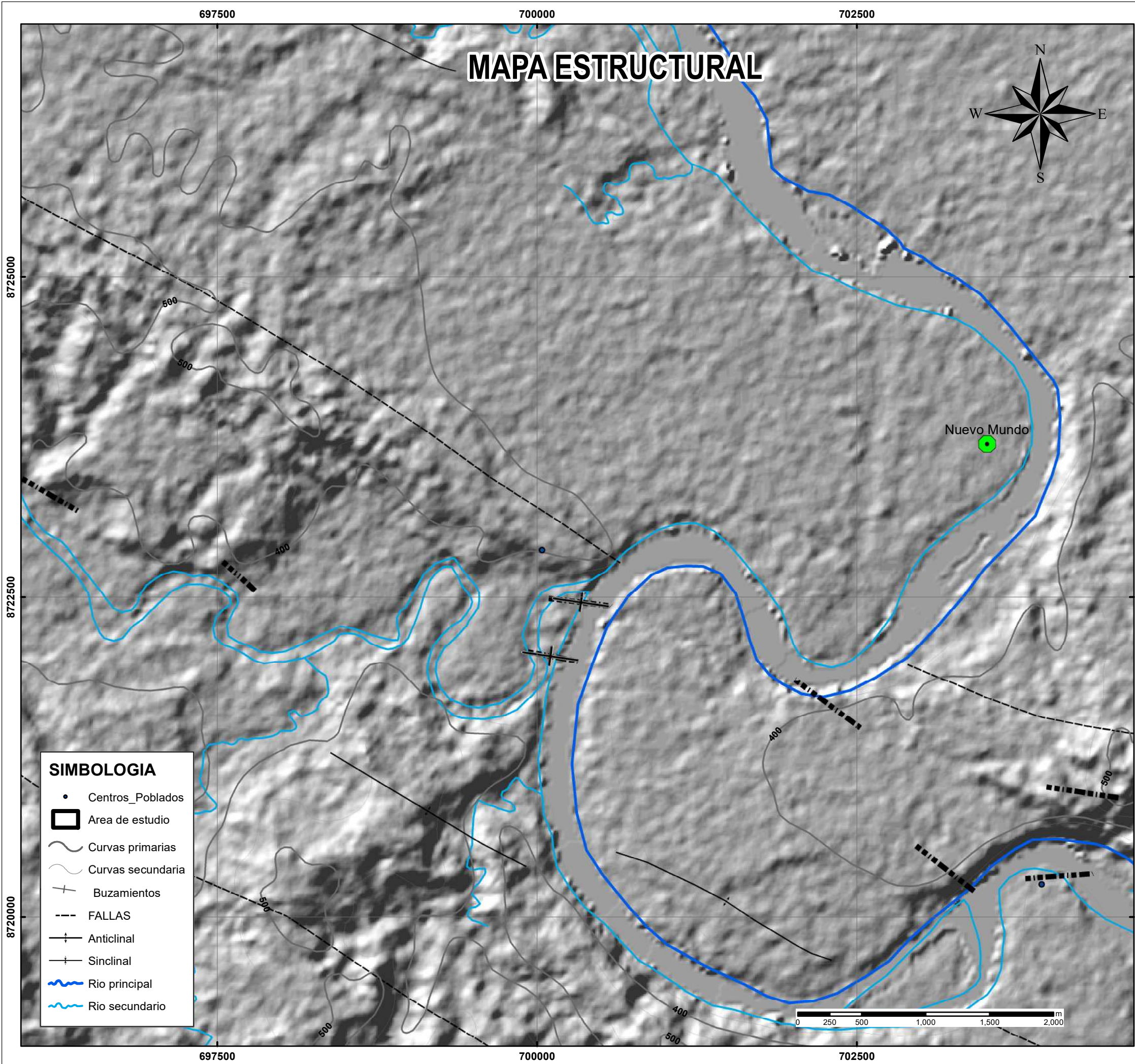
UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN DISTRITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS:		ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE - NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN - CUSCO.	
Nombre del Plano:		MAPA DE PENDIENTES LOCAL	
Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL			Mapa: 07
Datum: WGS 84	Escala: 1:10,000	Fecha: Marzo, 2023	
Proyección: UTM Zona 18 S			





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

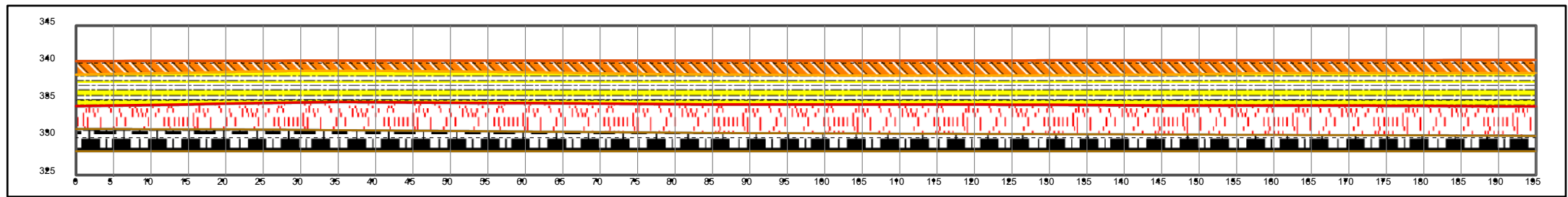
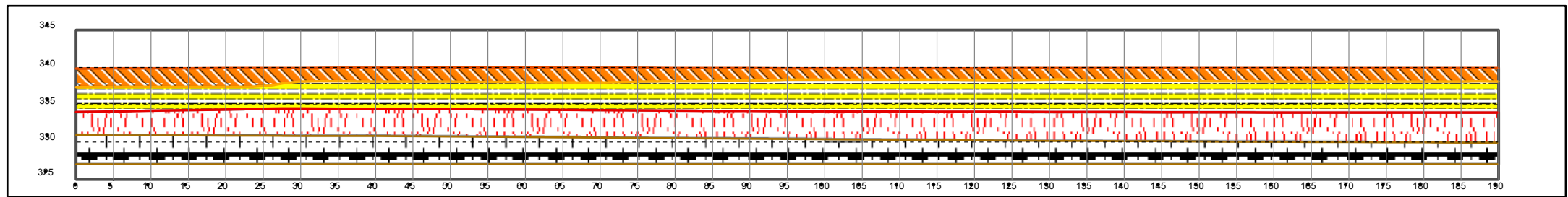
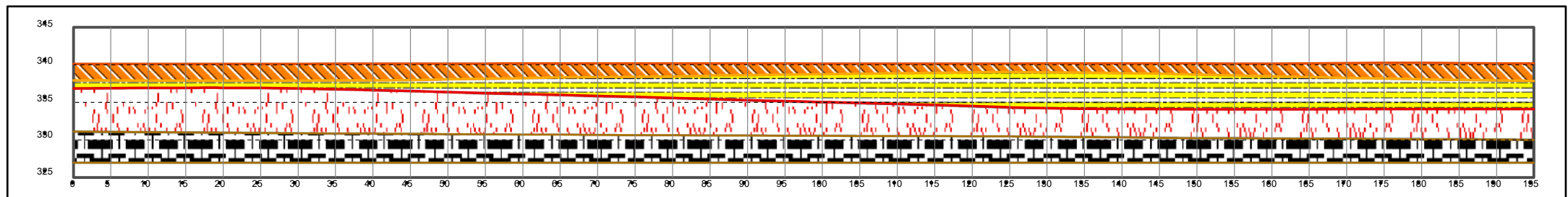
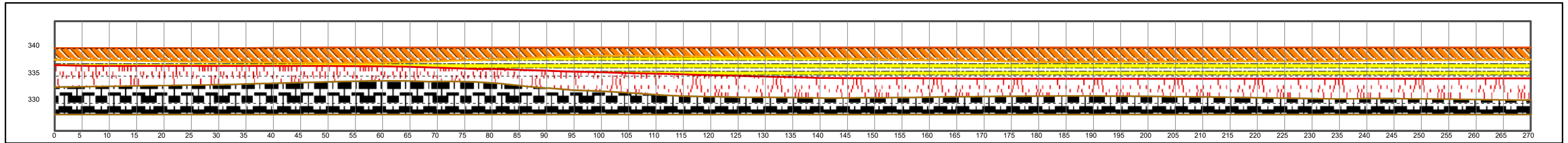
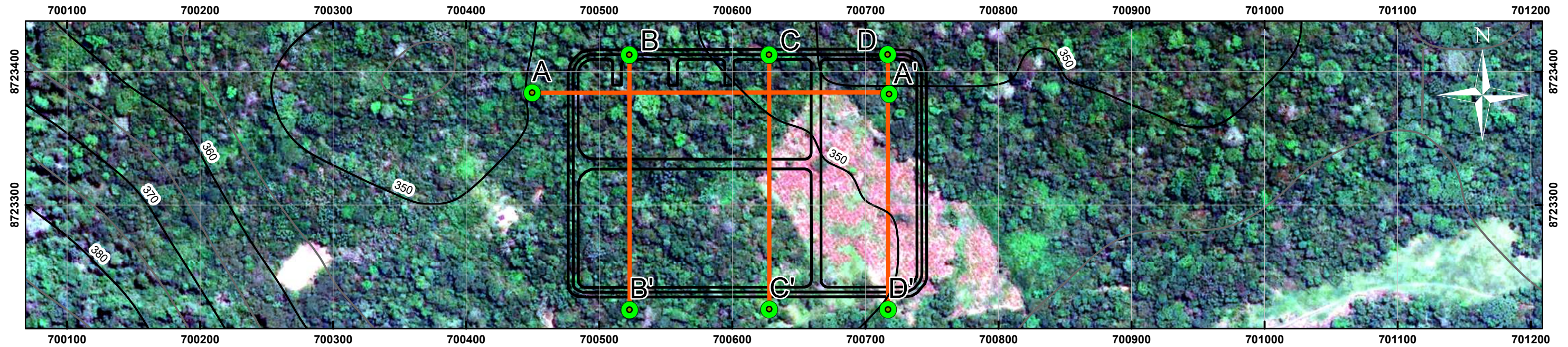
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE – NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCION – CUSCO.

Nombre del Plano: MAPA ESTRUCTURAL		
Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL		Mapa: 08
Datum: WGS 84	Escala: 1:30,000	Fecha: Agosto, 2024
Proyección: UTM Zona 18 S		



LEYENDA

CURVAS DE NIVEL

- Primarias
- Secundarias

SECCIONES

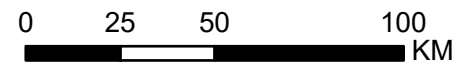
- A - A'
- B - B'
- C - C'
- D - D'

ESTRUCTURA

- ESTACION MIPAYA ALTERNATIVA
- PLANTA MIPAYA

LITOLOGIA

- ARCILLAS LIMOSAS
- ARENAS LIMOSAS
- GRAVA LIMOSA
- LODOLITAS



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis: **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE - NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN - CUSCO.**

Nombre del Plano: **SECCIONES ESTRATIGRAFICAS SPT - ESTACION ALTERNATIVA**

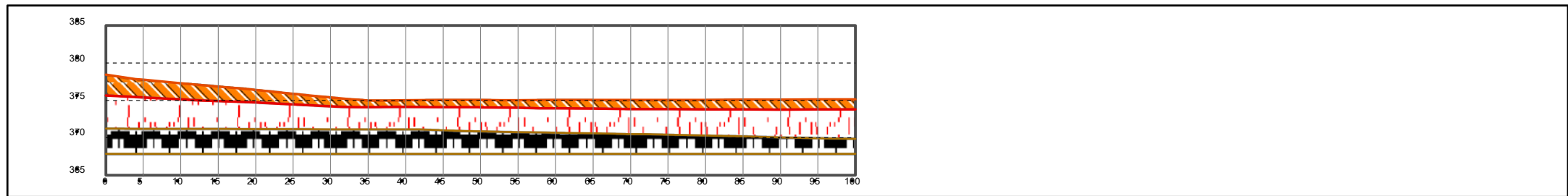
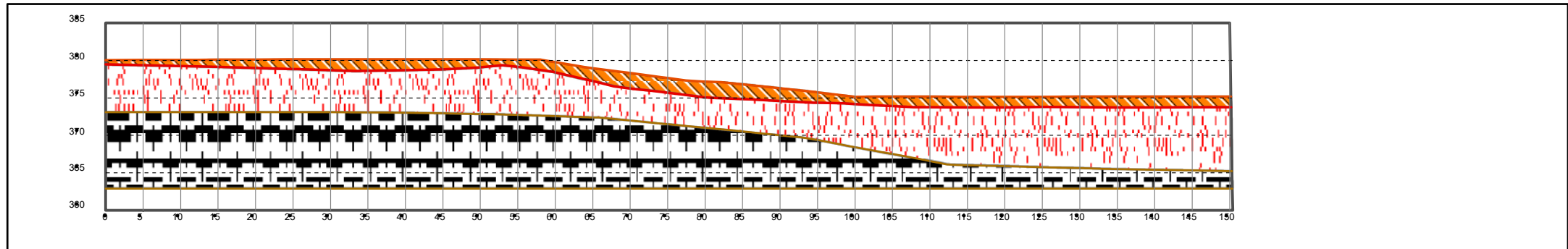
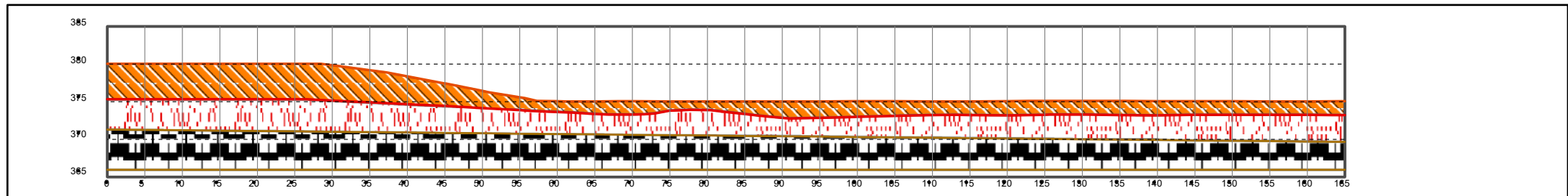
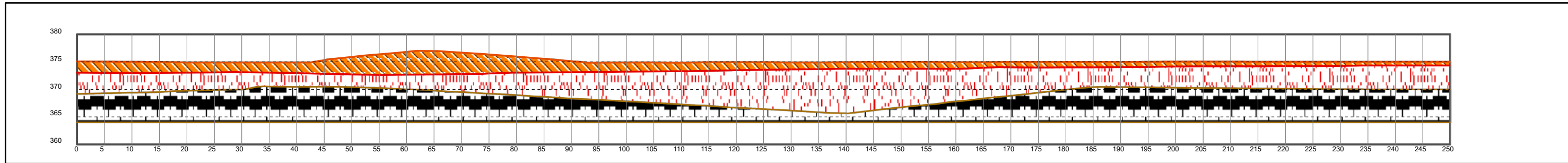
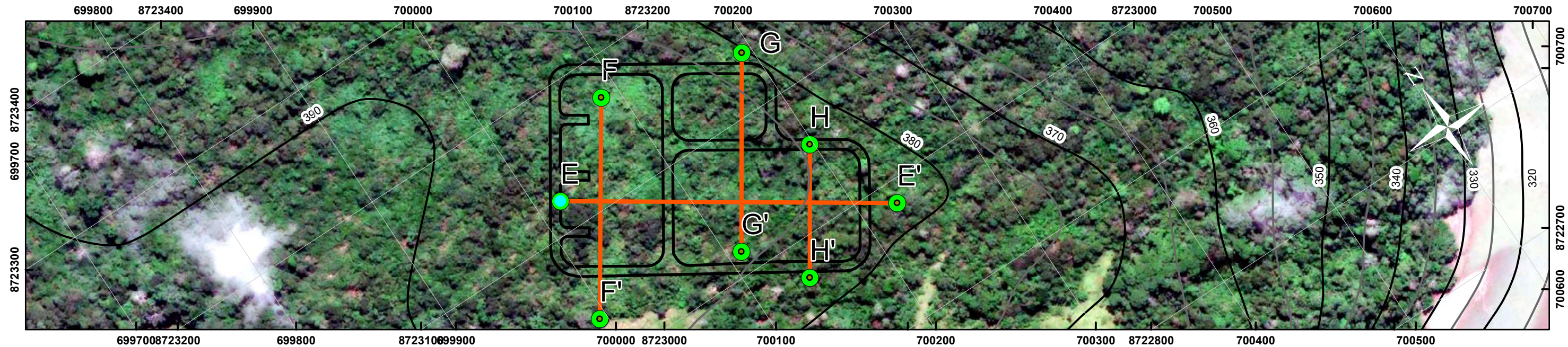
Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 18 S

Escala: 1:3,000

Fecha: Septiembre, 2024

Mapa: **09**



LEYENDA

CURVAS DE NIVEL

- Primarias
- Secundarias

SECCIONES

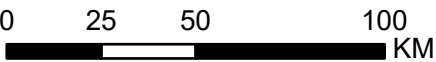
- E - E'
- F - F'
- G - G'
- H - H'

ESTRUCTURA

- ESTACION MIPAYA ALTERNATIVA
- PLANTA MIPAYA

LITOLOGIA

- ARCILLAS LIMOSAS
- ARENAS LIMOSAS
- GRAVA LIMOSA
- LODOLITAS





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA DE GAS MIPAYA STAND ALONE - NUEVO MUNDO - MEGANTONI - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

Nombre del Plano: SECCIONES ESTRATIGRAFICAS SPT - ESTACION PRIMARIA

Elaborado por: Bach. QUISPE MAYHUA JOSÉ LUIS
Bach. TIJERA CCORIMANYA, JIMMY GABRIEL

Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 18 S

Escala: 1:3,000

Fecha: Septiembre, 2024

Mapa: 10